



## Trabajo de Fin de Máster (TFM)

**Título:**

**Análisis del estado actual del abastecimiento de agua de la Ciudad de Chihuahua como base para impulsar esquemas de utilización de agua de lluvia.**

**Apellidos: Orduño Torres**

**Nombre: Miguel Ángel**

**Titulación: Máster en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad**

**Director: Jordi Morató Farreras**

**Co-director: Beatriz Escribano**

**Fecha de lectura: Barcelona, Julio de 2015**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

**Institut Universitari de Recerca en Ciència  
i Tecnologies de la Sostenibilitat**

---

## RESUMEN

El agua es esencial para el bienestar de las poblaciones, es un proveedor natural que contribuye al medio ambiente y otras formas de vida. Lo que aquí se pretende es que a partir de un análisis de la historia del agua en la Ciudad de Chihuahua podamos comprender su importancia y contribución a la vida económica y productiva de sus habitantes siempre en concordancia con la sostenibilidad. Los distintos esquemas de abastecimiento de agua de la ciudad parecen ser rebasados por el modelo económico imperante y de aquí la inquietud de impulsar esquemas de utilización de agua de lluvia que coadyuven a mitigar la escasez del vital líquido. De acuerdo al esquema actual sus fuentes de abastecimiento se encuentran agotadas, Chihuahua depende en un 99% de agua de sus acuíferos, los cuales se mantienen en un estado de sobreexplotación y es un claro ejemplo de resiliencia en el que la búsqueda de otras fuentes va más allá de la existencia misma de su población ya que constituyen un capital natural vital asociado a un conjunto de bienes y servicios estratégicos.

El afectar negativamente la sostenibilidad nos ha llevado a proponer un esquema de utilización de agua de lluvia y a identificar el impacto que genera la utilización de agua de lluvia disponible para la Ciudad de Chihuahua. Por tanto, lo que se propone es un modelo de competitividad del recurso agua, así como recomendaciones específicas en torno a la aplicación de sus políticas públicas.

***Palabras clave: agua de lluvia, Chihuahua, resiliencia, sostenibilidad, abastecimiento, escasez***

## RESUM

L'aigua és essencial per al benestar de les poblacions, és un proveïdor natural que contribueix al medi ambient i altres formes de vida. El que aquí es pretén és que a partir d'una anàlisi de la història de l'aigua a la Ciutat de Chihuahua puguem comprendre la seva importància i contribució a la vida econòmica i productiva dels seus habitants sempre en concordança amb la sostenibilitat. Els diferents esquemes d'abastament d'aigua de la ciutat semblen ser depassats pel model econòmic imperant i d'aquí la inquietud d'impulsar esquemes d'utilització d'aigua de pluja i altres alternatives que coadjuven a mitigar l'escassetat del vital líquid. D'acord a l'esquema actual les seves fonts d'abastament es troben esgotades, Chihuahua depèn en un 99% d'aigua dels seus aqüífers, els quals es mantenen en un estat de sobreexplotació i és un clar exemple de resiliència en què la recerca d'altres fonts va més enllà de l'existència mateixa de la seva població ja que constitueixen un capital natural vital associat a un conjunt de béns i serveis estratègics.

El afectar negativament la sostenibilitat ens ha portat a proposar un esquema d'utilització d'aigua de pluja i a identificar l'impacte que genera la utilització d'aigua de pluja i / o altres alternatives disponibles per a la Ciutat de Chihuahua. Per tant, el que es proposa és un model de competitivitat del recurs aigua, així com recomanacions específiques al voltant de l'aplicació de les seves polítiques públiques.

***Paraules clau: aigua de pluja, Chihuahua, resiliència, sostenibilitat, proveïment, escassetat.***

---

## ABSTRACT

Water is essential for the welfare of the people; it is a natural provider that contributes to the environment and other life forms. What is meant here is that from an analysis of the history of water in the city of Chihuahua we understand its importance and contribution to the economic and productive life of its inhabitants always consistent with sustainability. Different schemes of water supply of the city appear to be outweighed by the economic model and hence the concern of promoting schemes using rainwater and other alternatives that help to mitigate the shortage of the vital liquid. Under the current scheme supply sources are depleted, Chihuahua depend 99% water aquifers, which are kept in a state of overexploitation and is a clear example of resilience in the search for other sources will beyond the existence of its population since they are a vital natural capital associated with a set of strategic goods and services.

The negatively affect sustainability has led us to propose a scheme for using rainwater and identify the impact that the use of rainwater and / or other alternatives available to the City of Chihuahua. Therefore, what is proposed is a competitive model of water resources, as well as specific recommendations on the implementation of its public policies.

***Keywords: Rainwater, Chihuahua, resilience, sustainability, supply, shortage***

---

## ÍNDICE

### CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1	Importancia y justificación del Análisis del estado actual del abastecimiento de agua de la Ciudad de Chihuahua como base para impulsar esquemas de utilización de agua de lluvia.....	7
1.2	Objetivo General.....	7
1.3	Objetivos específicos.....	7

### CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1	Introducción .....	8
2.1.1	Grupos étnicos a la llegada de los españoles en 1598. ....	8
2.1.2	Fundación del Real de San Francisco de Cuellar, hoy la Ciudad de Chihuahua. ....	9
2.2	Evolución histórica del abastecimiento del agua de la ciudad de Chihuahua	
2.2.1	Obras hidráulicas de 1709 a 1890 .....	11
	Acueducto colonial: pilas y fuentes 1804 .....	12
	Primera red de agua potable 1894 y alcantarillado sanitario 1897. ....	13
2.2.2	Obras hidráulicas del siglo XX. ....	13

### CAPITULO 3. GOBERNANZA DEL AGUA

3.1	Introducción .....	16
3.1.1	Marco Administrativo .....	16
3.1.2	Marco Jurídico .....	17
3.2	Mapa de riesgos y vulnerabilidad de la Ciudad de Chihuahua .....	20

### CAPITULO 4. DIAGNOSIS DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA

4.1	Características de la ciudad de Chihuahua .....	23
4.2	Balance hídrico .....	25
4.2.1	Disponibilidad de recursos hídricos renovables .....	25
4.2.1.1	Pluviometría. ....	25
4.2.1.2	Gestión integral del ciclo del agua .....	30
4.2.1.3	Agua Superficial. ....	31
4.2.1.4	Agua Subterránea. ....	32
4.2.2	Usos del agua .....	35
4.2.2.1	Nivel de explotación del agua superficial y subterránea. ....	35
4.2.2.2	Distribución de los usos del agua. ....	36

4.2.2.3	Servicios disponibles .....	38
4.2.2.4	Consumo de agua per cápita .....	39
4.2.2.5	Costo económico del abastecimiento de agua Municipal .....	40
4.3	Tratamientos de agua .....	43
4.3.1	Agua potable .....	43
4.3.2	Agua residual .....	44
4.3.3	Reutilización .....	45
 <b>CAPITULO 5. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LLUVIA</b>		
5.1	Principales sistemas de captación de agua de lluvia .....	46
5.1.1	Definición de captación de agua de lluvia .....	46
5.1.2	Clasificación de los sistemas de captación de agua de lluvia.....	50
5.2	La utilización del agua de lluvia en el marco de la sostenibilidad. ....	53
 <b>CAPITULO 6. AUTOSUFICIENCIA HÍDRICA. ESTUDIO DE CASO DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA (MÉXICO)</b>		
6.1	Introducción .....	55
6.2	Antecedentes del aprovechamiento de aguas pluviales en sistemas urbanos	55
6.3	Ámbito de estudio del aprovechamiento de agua de lluvia. ....	56
6.3.1	Descripción del sistema objeto de estudio .....	57
6.3.2	Problemática de la gestión del ciclo hídrico en Chihuahua.....	57
6.3.3	Gestión hídrica en Chihuahua. ....	57
6.4	Metodología. ....	58
6.4.1	Estimación de la oferta: Determinación de la captación potencial de las aguas pluviales captadas. ....	58
6.4.2	Estimación de la calidad de las aguas pluviales. ....	58
6.4.3	Estimación de la demanda: Determinación de la demanda potencial de la ciudad.	59
6.4.4	Determinación del potencial de la demanda hídrica. ....	60
6.5	Resultados y Conclusión. ....	60
6.5.1	Análisis de la oferta endógena local de agua: potencial captación de pluviales en la ciudad de Chihuahua. ....	60
6.5.2	Evaluación cualitativa de las aguas pluviales captadas en la ciudad objeto de estudio. ....	61
6.5.3	Análisis de la demanda de agua: Demanda potencial en función de los escenarios y consumo de los diferentes sectores. ....	63
 <b>CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....</b>		67
 <b>CAPITULO 8. RECOMENDACIONES.....</b>		69
 <b>CAPITULO 9. ....</b>		70

---

9.1	Glosario de términos.....	70
9.2	Índice de Ilustraciones. ....	71
9.3	Índice de Tablas.....	72
9.4	Bibliografía.....	74

---

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

**1.1 Importancia y justificación** del Análisis del estado actual del abastecimiento de agua de la Ciudad de Chihuahua como base para impulsar esquemas de utilización de agua de lluvia en el marco de la sostenibilidad.

El tema del agua es de suma importancia, debido a que la disponibilidad del vital líquido es esencial para la vida y primordial para la mayoría de las actividades productivas del hombre; está directamente relacionada con la posibilidad de desarrollo.

En todos los países los gobiernos tienen el deber de asegurar el abasto de este vital líquido a cada una de sus comunidades. Destacando que con el crecimiento de la población se incrementa también la demanda de este escaso recurso, se vuelve indispensable identificar fuentes adicionales alternas para el suministro de agua, que permitan cubrir los requerimientos, con una cultura de desarrollo sostenible sobre el agua.

En la ciudad de Chihuahua debido al clima árido extremoso de la región y comunes sequías, la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra en una situación crítica según el diagnóstico dado por el Plan Hidráulico Gran Visión, realizado en 1997 y patrocinado por la Comisión Nacional del Agua, esta problemática de escasez del agua propicia la elaboración del presente trabajo de investigación con el tema propuesto, desarrollándose acorde con la necesidad de analizar e identificar alternativas que impacten de forma positiva el actual esquema de abastecimiento.

### **1.1 Objetivo General**

Realizar un análisis y evaluación de los esquemas de abastecimiento de agua de la Ciudad de Chihuahua como base para impulsar esquemas de utilización de agua de lluvia en el marco de la sostenibilidad.

### **1.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar las fuentes de abastecimiento de agua en la Ciudad de Chihuahua de acuerdo al esquema actual.
2. Proponer un esquema de utilización de agua de lluvia en el marco de la sostenibilidad para la Ciudad de Chihuahua.
3. Identificar el impacto que genera la utilización de agua de lluvia en la Ciudad de Chihuahua.

---

## **CAPITULO 2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Introducción**

El agua, sin duda, juega un papel importante en el desarrollo de los pueblos, y quienes nos antecedieron nos advertían de alguna manera la utilización de métodos sostenibles en el uso del agua, que representa un impulsor del crecimiento de los cada vez más numerosos centros de población.

El análisis que se describe a continuación tiene que ver con la población de la Ciudad de Chihuahua desde la época prehispánica, su fundación hasta el año 2000 y su relación con la forma de manejo del agua a través de las obras hidráulicas.

La escasez de este recurso ha sido y es un factor limitante para el desarrollo productivo sostenible de la población en general, lo que históricamente ha obligado y condicionado la conformación de una cultura del agua desigual, sobre todo a partir de la llegada de los primeros españoles a esta región.

Si bien en la época prehispánica, los diversos y numerosos grupos étnicos, se disputaban durante las sequías los territorios al margen de los ríos y los manantiales ubicados en las zonas más áridas, también los compartían durante las buenas temporadas de lluvias.

Esta relación humana se vio seriamente afectada con la llegada de los colonos y el establecimiento de las haciendas de beneficio de metales consecuentemente necesarios para la explotación minera, así como por las haciendas ganaderas y agrícolas que proporcionaban los suministros necesarios para el sustento de los nuevos asentamientos humanos.

La demanda de agua se convierte en un factor de choque entre dos culturas radicalmente opuestas y distintas desencadenándose un largo y tortuoso conflicto entre indígenas y españoles, finalmente estos últimos logran el control de este preciado recurso, por lo menos en los sitios cercanos a las minas y misiones de religiosos.

Aquí la importancia reseñar brevemente los antecedentes prehispánicos de la región en estudio, para comprender la situación, características y condiciones que encontraron los primeros españoles que llegaron a lo que hoy es la ciudad de Chihuahua.

#### **2.1.1 Grupos étnicos a la llegada de los españoles 1598.**

La mayoría de los grupos indígenas que habitaron los áridos territorios del norte de México, principalmente en la zona central, (Chihuahua y Coahuila), eran considerados como nómadas y semi-nómadas, su subsistencia y desarrollo dependían de las condiciones climáticas estacionales para cazar, recolectar plantas, raíces, frutos y semillas de temporal (en verano durante la temporada de lluvias), así como de la práctica de un incipiente cultivo de calabaza y maíz en las orillas de los ríos, lagunas y las escasas tierras húmedas.



---

*Los conchos supieron sacarle rentabilidad a las duras condiciones que se daban en la zona, se adaptaron al desierto y empleaban incluso el bagazo del mezcal como alimento de subsistencia en las épocas en las que los frutos silvestres escaseaban después de molerlo previamente para hacerlo comestible. El mezcal fue la planta que más utilizaron los grupos de la región, la xerófita y sus hojas fibrosas sirvieron para elaborar las prendas que vestían, pero también el corazón de la planta se cocía y los jugos azucarados que producía se consumían como energéticos. Entre los animales que cazaban estaba el bisonte, el venado y el conejo, este último abundaba por todo el territorio y sus pieles se aprovechaban para vestirse; otras especies menores formaban de igual manera parte de su dieta, aves, ratones de campo, ardillas, tuzas, liebres, víboras, cigarras, saltamontes y hormigas. El atole, la bebida que elaboraban, lo hacían moliendo las semillas silvestres que recolectaban.*<sup>1</sup>

Todas estas actividades no hacían posible ni necesario el establecimiento de asentamientos sedentarios, que son la base socioeconómica indispensable para la construcción de viviendas, templos, centros ceremoniales y el desarrollo de tecnología agrícola.

Por lo que los vestigios y restos arqueológicos para determinar con precisión la distribución geográfica territorial y rasgos culturales, son escasos, tales como pinturas rupestres, puntas de flecha, metates de piedra para moler diversos granos y artículos de cuero.

En lo que se refiere al territorio aquí estudiado, el grupo de los Conchos, extinto a finales del siglo XVII destacaba por ser uno de los más numerosos, en esa época se estimaron 50 mil, en 1649 don Diego Guajardo Fajardo, capitán general y gobernador de Nueva Vizcaya realizó el primer cálculo de indios que habitaban esta región, así como por el extenso territorio que dominaban, que abarcaba la cuenca del Río Conchos hasta el Río Bravo y desde la Sierra Madre Occidental hasta las actuales ciudades de Ojinaga, Chihuahua y Presidio en Texas.

Dos terceras partes del suelo concho son de pastizal y matorrales, algo a lo que supieron sacarle un excelente provecho; parte de su alimentación procedía de la agricultura que cultivaban, como las calabazas y también maíz. Cuando llegaron los primeros extranjeros a la región los nativos se dedicaban básicamente a la pesca, aunque nunca llegaron a abandonar la práctica de la caza y la recolección. También se conoce que para 1697 los cultivos que producían como las sandías daban buenos resultados. Entre sus costumbres, que compartían con los otros grupos del norte de México, estaban la de moler el maíz mediante el uso del metate y utilizarlo en forma de pinole, o la que ya ha desaparecido de moler los frutos del mezquite para preparar la masa con la que se elaboran los tamales y que los españoles mencionaban como mezquitamal.<sup>1</sup>

### **2.1.2 Fundación del Real de San Francisco de Cuellar, hoy la ciudad de Chihuahua.**

Los primeros españoles que recorrieron el amplio y árido territorio de Chihuahua fueron Alvar Núñez Cabeza de Vaca, el negro Estebanico, Andrés Dorantes y Esteban del Castillo, integrantes de la expedición capitaneada por Pánfilo Narváez con el propósito de conquistar la península de Florida en 1527. Dicha empresa resultó un desastre debido a un terrible huracán, que arrojó las

---

naves a la costa de florida; 158 años después se funda la misión de San Cristóbal de Nombre de Dios, por fray Alonso Briones, en la margen del río Sacramento.

Durante un recorrido que hizo por las misiones de Chihuahua fray Jerónimo Martínez, como provincial que fue de 1694 a 1697, los indios se le acercaron para pedirle que les dejara al fraile que lo acompañaba, fray Alonso, como misionero residente.

Fray Jerónimo accedió y realizó esa fundación dándole como pueblos de visita a San Antonio del Chuviscar (habitado por tarahumaras), San Jerónimo y San Juan Bautista del Norte.<sup>2</sup>

De los asentamientos indígenas, no sabemos el origen, sólo sabemos que a la llegada de los españoles había ahí un asentamiento de indios conchos y que éstos llamaban a su rancharía y al río que pasaba por ahí Nabacoloaba (o Navocolaba). En cuanto a los españoles, fue a dicho sitio a donde llegó el 12 de marzo de 1598 el conquistador don Juan de Oñate en su marcha hacia Nuevo México. Oñate llegó primero al lugar donde hoy es Nombre de Dios, en la junta de los ríos Chuviscar y Sacramento, lo bautizó con ese nombre y mandó celebrar ahí una misa, en una choza de palos y ramas que hicieron con los álamos del lugar.

La misión de Nombre de Dios está íntimamente ligada a la fundación de la villa de San Francisco de Cuellar, que luego fue San Felipe el Real de Chihuahua. Como consecuencia de la sublevación de los pueblos indios en Nuevo México en 1680, los españoles e indios cristianos que habitaban allá tuvieron que huir hacia el sur, estableciéndose no sólo en las riveras del río Bravo, sino mucho más al interior de lo que hoy es el estado de Chihuahua. Algunos de esos emigrados llegaron a Sacramento y Nombre de Dios, donde compraron tierras de la hacienda de San José, perteneciente a don Pedro Núñez Falcón. Uno de los neomexicanos que se estableció en Nombre de Dios con su familia fue un indio llamado Juan de Dios Martín Barba. Juan de Dios fue el descubridor de las minas de Santa Eulalia, que como sabemos, dieron origen a la fundación de Chihuahua.

El otro grupo étnico numeroso que compartía este territorio con los conchos, fueron los rarámuris (pies ligeros), mejor conocidos como tarahumaras, aunque su presencia en la región de confluencia de los ríos Sacramento y Chuviscar era menos numerosa, ya que su ámbito de acción se ubicaba más hacia el oeste del estado, en los valles y planicies de las Babícoras. Esta es una de las ya pocas etnias que lograron trascender hasta la actualidad, conservando gran parte de su cultura.

Los grupos étnicos mencionados subsistían por la estrecha relación simbiótica que habían establecido y desarrollado con su medioambiente, (agua, tierra, flora y fauna).

Con relación al agua: las lluvias de verano y las nevadas invernales alimentaban los arroyos, ríos y lagunas, así como los mantos freáticos que mantenían fluyendo los pocos manantiales potables de toda esta región, en donde también aun existen algunos muy salinos de aguas termales.

Estas fuentes se utilizaban para abastecerse de agua para cocinar, lavar vestimentas, limpiar pieles, así como para la pesca y recolección de conchas y cangrejos y asechar presas de caza que se acercaban a beber, tales como bisontes, venados, aves y otros mamíferos pequeños.

---

De acuerdo al uso del agua por estos grupos étnicos, puede plantearse que en esa época era sustentable, ya que no había prácticas antropogénicas contaminantes, ni explotación desmedida de los cuerpos de agua que afectaran los mantos freáticos.

Cabe agregar que la sustentabilidad no solo se refiere al uso del agua doméstico, es decir para calmar la sed, cocinar, bañarse, lavar vestimentas y presas de caza, sino además porque ahí donde este recurso está presente, se reproduce y alimenta la flora y fauna que garantiza la subsistencia humana.

Ahora bien, ¿Qué se puede rescatar de esta forma de usar el agua? La respuesta es difícil porque estriba en un cambio de actitudes, no de tecnologías, sistemas o medios disponibles, sobre todo porque en esta región el agua siempre ha sido escasa y lo grave es que hoy, está en grave riesgo de agotarse.

El contar con nuevas tecnologías en la esfera de nuestra actuación resultan indispensables para un manejo más sostenible en el uso del agua, sin embargo, el ámbito educativo no puede ser ajeno a los cambios que hacen posible su desarrollo y entonces podemos asumir que el grado de impacto que se tenga en este contexto no depende tanto de los medios en sí, sino de la participación de todos los involucrados, asumiendo sus actitudes, creencias y experiencias.

## **2.2 Evolución histórica del abastecimiento del agua de la ciudad de Chihuahua**

### **2.2.1 Obras Hidráulicas de 1709 a 1890**

La ciudad de Chihuahua para el año de 1709 estaba conformada por 43 habitantes, los cuales eran vecinos que residían en la Alcaldía Mayor de Santa Eulalia. Santa Eulalia es una población del estado mexicano de Chihuahua, situada a unos 10 km de la capital del estado, del mismo nombre Chihuahua. Es una pequeña población colonial de origen minero. Hoy, es cabecera del municipio de Aquiles Serdán.

En lo que respecta a sus fuentes de abastecimiento de agua, básicamente lo hacían a través de norias, escurrimientos de ríos, arroyos y ojos o manantiales y su uso era fundamentalmente doméstico, sin embargo, también se utilizaba para el riego de huertos y abrevaderos para el ganado, además, obtenían el beneficio de los metales arrastrados por los escurrimientos. Las norias o pozos a cielo abierto se siguieron utilizando hasta casi finales de 1930 de manera complementaria al sistema de distribución del agua potable ya existente. Cabe mencionar que parte de la población registrada en Santa Eulalia residía en San Francisco de Cuellar, hoy Chihuahua.

Para el año de 1746, se contaba con más de 2000 vecinos españoles y mestizos en ambos poblados. El 12 de diciembre de 1751 se inicia la construcción del acueducto, cuya fuente de abastecimiento de agua era el río Chuvistar, construyendo una pequeña presa derivadora y ubicando la bocatoma en lo que es actualmente la presa Chuvistar. La utilización del agua que transportaba el acueducto

---

era de uso doméstico. Cabe mencionar que en ese entonces el Virrey de Nueva España, primer Conde de Revillagigedo, ordeno que se detuvieran los fondos para la construcción del acueducto.

En el año de 1765, la distribución de la población estaba dada por 733 vecinos más en Santa Eulalia para hacer un total de 4755 personas entre españoles y mestizos, asimismo, 692 vecinos más se sumaban en San Felipe El Real para hacer un total de 4652 habitantes. En el año de 1768 se vieron suspendidos los trabajos de construcción del acueducto para financiar la guerra contra los apaches y comanches, para ese entonces el acueducto solo llegaba a los suburbios de la Villa de San Felipe El Real. En esos años, el Ayuntamiento arrendaba el agua para el riego de algunas labores agrícolas y para mover un cancel hidráulico de la hacienda de beneficio de metales de El Mortero, ubicada al margen derecho del Rio Chuvistar, actualmente es un local para eventos sociales.

De manera continuada la población llevo a 10,752 y en el año de 1778 se reinician reparaciones del acueducto, para evitar mayores desperfectos y fugas de agua y se avanza hasta la Alameda Vieja (parque Lerdo) y se instalan las primeras fuentes públicas dentro del perímetro de la Villa.

Después de separar Santa Eulalia y Babonoyaba la población se ubicó en 8,752 habitantes y fue en el año de 1793 en que la obra del Acueducto llega hasta la plaza principal, lugar donde se encuentra La Catedral de Chihuahua y este alcanza una longitud de 6,583 varas, es decir 5,502.73 metros desde la bocatoma hasta la plaza.<sup>3</sup>

- **Acueducto Colonial: pilas y fuentes 1804.**

En el año 1803, la región ya contaba con 11,600 habitantes entre Santa Eulalia y San Felipe El Real y para el año 1804 se reinician los trabajos para la terminación del acueducto y se construye la acequia principal auxiliar hasta el crucero de las actuales calles de Vicente Guerrero e Ignacio Allende. Asimismo, se erigen varias pilas de almacenamiento intermedias, la última ubicada en el actual supremo tribunal de justicia, llamada pila de San Felipe. Paralelamente de 1804 a 1805 se inician en la Ciudad de México los proyectos para la entubación del agua de la Ciudad de Chihuahua. El proyecto culmino con el tendido de una tubería que proporcionaba agua a una fuente pública y dos pilas de almacenamiento, el agua era derivada en el origen del acueducto, en el sitio denominado “el salto”, mediante una pequeña presa, donde posteriormente se construyó la actual presa Chuvistar. Y para el año 1811 se realizan actividades de fomento para la construcción de las primeras cañerías de agua de uso doméstico, cabe mencionar que para este propósito el comerciante español Francisco Manuel Elguea otorga un donativo de \$6,750.53 pesos.

En el transcurso de 1814, se llevan a cabo reparaciones al acueducto y se amplía la red de canales distribuidores, se instala la fuente de la pila de Pérez, ubicada en donde ahora se cruzan las calles Allende y Decima y se continuaron ampliando más ramificaciones de canales a cielo abierto. Estos trabajos se realizaron con recursos propios del Ayuntamiento y el uso de agua de esta red de canales seguía siendo principalmente doméstico, y se calcula que para el año 1823 a 1850 la población de la región oscilaba entre 9,000 y 10,000 habitantes y solo en la ciudad de Chihuahua había 6,571, siendo en 1829 que esta ampliación de dichos canales se llevaron a cabo con los donativos del caballero español Manuel de San Juan y Santa Cruz.

---

Para continuar con la ampliación de esta red de distribución, en el año 1852 se contrata al Ingeniero Luis Jara, quien concluye estas obras en 1854. Para el año 1880 y con una población de 12,000 habitantes las necesidades de agua eran cubiertas en su totalidad, siendo la capacidad del acueducto de 100 litros por segundo.

Siendo Gobernador Don Luis Terrazas, en el año 1882 se instalan las tuberías de cañería metálicas sustituyendo paulatinamente a las acequias auxiliares de cal y canto.

El 1 de julio de 1885 siendo Gobernador Carlos Fuero, aprueba el gasto para la construcción de la fuente de la plaza San Francisco y en el año 1888 el Gobernador sustituto Celso Gonzales anuncia la creación de una compañía para la entubación del agua del uso doméstico.

Para el año 1890 y con una población de 13,128 habitantes, se continúa con la entubación del agua de la ciudad y el Gobernador Lauro Carrillo expresa que la entubación es la única manera de proveer a la ciudad del agua indispensable para el consumo, ya que no hay suficiente agua para las fuentes públicas, que es de donde se tienen que proveer las clases pobres, que son las más numerosas de la ciudad; logrando para 1991 la canalización de 11 km del río Chuviscar.<sup>(3)3</sup>

- **Primera red de agua potable 1894 y alcantarillado sanitario 1897.**

Dadas las condiciones del agua potable en la ciudad, expuesta a la intemperie, al uso de los animales y diversos agentes contaminantes en 1894 el gobernador Miguel Ahumada dio inicio a la obra de entubación del agua potable concluyéndola el 2 de junio de 1895 y en 1897 el mismo gobernador Ahumada dio inicio a la obra de alcantarillado sanitario la cual en ese mismo año se concluyó.

## **2.2.2 Obras hidráulicas del siglo XX.**

El 1 de junio de 1900 con la finalidad de mejorar la salubridad pública y la higiene de la capital, el gobernador Ahumada puso en operaciones la planta de filtro Primera planta potabilizadora, con capacidad para purificar un millón de galones de agua diarios, 43.75 litros por segundo, para el uso de la ciudad, logrando de esta manera que la ciudad contara con su primera planta potabilizadora, cabe destacar que siguieron existiendo sectores que se abastecían de las fuentes existentes o de norias dado que la población era de 30,404 habitantes que tan solo para uso municipal demandaban 65 litros por segundo y aproximadamente el doble 125 litros por segundo para uso municipal, publico comercial e industrial además de fugas o desperdicio.

En 1906 el gobernador Enrique C. Creel aprueba la construcción del edificio donde se instalo la bomba que suministra la mayor cantidad de agua a la ciudad; el edificio, la bomba y la tubería corresponden a la obra denominada Noria el Mortero, obra localizada en la confluencia del arroyo del mismo nombre y el rio Chuviscar, misma que permitió aumentar el caudal de agua suministrada a la ciudad, con una red de distribución de 7,500 metros, y ayudaba a reforzar el suministro procedente de la planta tratadora. A raíz de la contaminación del río Chuviscar en 1980 fue puesta

---

fuera de servicio después de más de 75 años, dado que se había vuelto antieconómica su utilización por su baja producción y mala calidad.

En 1904 el gobernador Luis Terrazas autorizó la construcción de la Presa Chuviscar, siendo hasta 1907 cuando se inició su construcción, con la finalidad de satisfacer las necesidades del vital líquido dada la continua escasez de agua en ciertos meses del año y al incremento de la demanda por el propio crecimiento de la población que ya para esos años era del orden de los 35,000 habitantes. La Presa fue puesta en operaciones en septiembre de 1908, construida sobre el río Chuviscar, con una capacidad útil total de 2,767,000 metros cúbicos, capacidad que con el paso de los años se fue reduciendo debido al azolve, lo que aunado a su contaminación propició que quedara puesta fuera de servicio en 1982.

En 1908 sobre el arroyo la Canoa se construyó una galería filtrante en la colonia Dale de 2.50 m de altura, 2.5 m de ancho y 12 m de longitud, con esta obra construida por el señor Tomás Dale se producían 2.3 litros por segundo en promedio, con el objeto de captar las aguas de infiltración del propio arroyo, para surtir los requerimientos de las colonias aledañas, principalmente la colonia Dale, Progreso, Rosario y Ocampo.

La boca toma de Toriles construida en 1914 era una obra de captación y conducción localizada al margen derecho del río Chuviscar que constaba de dos bocas, que derivaban agua del río a través de un canal hasta el nacimiento del acueducto colonial al que se le nombro Canal Villa por haber sido construido en tiempos del general Francisco Villa, por donde era conducida el agua a la ciudad. Construida con la finalidad que las aguas mansas potables del río provenientes de los manantiales del rincón del Chuviscar no perdieran su calidad al revolve con las aguas brancas captadas en el vaso de la presa Chuviscar, cuyo objetivo en un principio no era cumplido debido a que el canal colonial era el único modo de conducción que llevaba también el agua proveniente del vaso de la presa. En 1926 se hizo una adecuación a la obra, levantando la cortina de la presa de derivación Toriles para que la toma en lugar de ser superficial fuera a través de un cuerpo de arenas graduadas formando un filtro colador y fueran conducidas por su canal propio hasta la población quedando el acueducto solo para el agua de la presa siendo solo esta última la que habría de potabilizarse.

Con la finalidad de garantizar el suministro de agua así como su calidad, a partir de 1921 se realizaron diversos proyectos hidráulicos, de los que destacaron los realizados por: el ingeniero Plutarco Garciadiego, el ingeniero Natividad González y asociados, el geólogo Paul Waitz y el ingeniero H. G. Olmsted.

Dichos proyectos fueron analizados por una comisión nombrada en una reunión de ingenieros de la ciudad, celebrada el 23 de junio de 1926, desechando cada uno de ellos, dado que: el proyecto del ingeniero H. G. Olmsted proponía que se dejaran todas las fuentes de abastecimiento existentes para utilizar un abastecimiento total mediante pozos profundos (500 pies) perforados en la falda del cerro de Santa Rosa, lo que se consideró problemático además de que resultaba excesivamente caro.

---

el bombeo. La propuesta del geólogo Waitz estaba basada en la utilización del canal de derivación la Noria El Mortero, cavar una noria en el arroyo de la Cañada y otras más en las inmediaciones de la confluencia del río Sacramento y Chuviscar, y que el agua proveniente de la presa solo fuera utilizada para regar, lo que de igual manera el proyecto del ingeniero H. G. Olmsted resultaba incostruable. Las propuestas de los ingenieros Plutarco Garciadiego y Natividad González fueron desechadas debido a que consideraron que depurar el agua de la presa con filtros resultaba inconveniente, en sus propuestas ambos sugerían que se utilizara el agua del canal de derivación y la del vaso de la presa para abastecimiento de agua potable, esta última mediante filtración antes de utilizarla.

Surgiendo después de este análisis un proyecto propio de la Comisión, que proponía dos abastecimientos para la ciudad; uno de agua potable para uso municipal tomada del río en la presa de derivación a casi 5.6 km antes de la presa Chuviscar, cerca del rancho del Potrillo de donde a través de tubería sería llevada a presión hasta un tanque de almacenamiento y derivación y otro para riego con el agua del vaso de la presa, distribuida por el antiguo acueducto. Este proyecto se presentó al gobernador en turno el coronel Jesús Antonio Almeida, pero no se le dio continuidad debido a que a partir del siguiente año hasta 1932 la gubernatura estuvo ocupada por 12 gobernadores, dificultando los trabajos de ejecución de la obra, sin embargo el 3 de octubre de 1928 fue inaugurado el filtro lento de Toriles y el 12 de marzo de 1929 el primer tramo de la conducción, con un avance del 80% del segundo tramo, quedando pendiente la construcción del cruce de los arroyos.

En 1960 se concluyó la construcción de la presa Chihuahua. La construcción de esta presa se realizó con la finalidad de controlar las aguas irregulares del río Chuviscar y reducir dentro de lo razonable el área hidráulica del proyecto de canalización por cuestiones económicas y de urbanismo, dada la poca capacidad y nivel de azolve acumulado en la presa Chuviscar. La presa Chihuahua contaba con una capacidad de almacenamiento controlado de 10.20 millones de metros cúbicos y una capacidad de azolve de 2.0 millones de metros cúbicos, dotada con dos vertedores; el superior, cuya cresta estaba a una elevación de la cresta de 1542.82 m. y en inferior en forma de embudo con la elevación de la cresta a 1535.00 m., en varias ocasiones derramó agua por el vertedero inferior, por lo que la propia Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) instaló agujas de madera con el objetivo de elevar el nivel de la cresta del embudo para poder aumentar el volumen de almacenamiento de agua potable y evitar que en años en los que las precipitaciones pluviales fueran abundantes, se siguiera desperdiciando el agua de lluvia. Para 1965, después de un estudio hidráulico, se decidió realizar una obra complementaria a la presa Chihuahua, que permitiría controlar el escurrimiento del arroyo el Rejón y asegurara la protección de la canalización del río Chuviscar, esta es la presa el Rejón, con capacidad de almacenamiento para abastecimiento de agua y azolve de 2.6 millones de metros cúbicos.<sup>3</sup>

---

## CAPITULO 3. GOBERNANZA DEL AGUA

### 3.1 Introducción

El Diccionario de la Lengua define gobernanza como el “arte o manera de gobernar que se propone como objetivo el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el Estado, la sociedad civil y el mercado de la economía”.<sup>4</sup>

La ‘gobernanza’ se refiere a un enfoque a los procesos de adopción de decisiones centrado en las partes interesadas, el cual incluye tanto a quienes tienen atribuciones para ejercer el poder como a ciudadanas y ciudadanos ‘comunes’.<sup>5</sup>

La Gobernanza se define como “las interacciones y acuerdos entre gobernantes y gobernados, para generar oportunidades y solucionar los problemas de los ciudadanos, y para construir las instituciones y normas necesarias para generar esos cambios”.<sup>6</sup>

La gobernanza implica que las personas puedan participar en las decisiones, para eso, los ciudadanos necesitan que exista libertad de expresión y asociación, respeto y fortalecimiento de los derechos humanos y estar informados.

En México, en el ámbito nacional, el concepto de gobernanza del agua no ha sido bien definido por lo que se usa para referirse a la conflictividad y la movilidad en torno al agua, a aspectos físicos, o a la gestión de dicho recurso, entre otras cosas. De tal manera, que gobernanza de los recursos hídricos o gobernabilidad como se usa en el ámbito latinoamericano, se refiere a la buena gestión del agua y a la participación de todos los actores sociales en la conformación de las decisiones.

El concepto de gobernanza en torno a la gestión de los recursos hídricos para denotar el problema del agua, o la crisis en torno al agua no es un problema de gestión exclusivamente, sino que lleva implícitos otros factores que son fundamentales para poder funcionar, que incluye las mejoras en la capacidad institucional, los marcos legales y la distribución de los recursos y aún más a fondo, dentro de la toma de decisiones se deben tener en consideración los procesos y comportamientos que influyen en el ejercicio del poder involucrando a todos los agentes implicados

Por lo tanto, el concepto de gobernanza implica la apertura, la participación, la responsabilidad, la eficacia y la coherencia (como se entiende en la Unión Europea), tomando como base el grado de rendición de cuentas, transparencia, inclusión y sensibilidad de las instituciones.

#### 3.1.1 Marco Administrativo

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) la gobernanza es la condición previa más importante para la gestión equitativa y eficaz de los recursos hídricos con el objetivo de reducir la pobreza. En el ámbito de la CEPAL, sin embargo, se entiende en forma más limitada y con una visión más economicista se refiere a “la capacidad de insertar el agua en forma



---

productiva en la economía y en la capacidad de ésta de afrontar y pagar por servicios que presta el agua”. En este sentido, el problema de gobernanza debe tener como premisa la no alteración del ciclo del agua más allá de gobernar el agua de forma productiva.<sup>7</sup>

Es importante señalar que uno de los mayores déficits en el ámbito latinoamericano es el de la participación. Si la gobernanza del agua requiere la interacción dinámica de tres niveles: del gobierno, la sociedad civil y el sector privado y está construida sobre los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que afectan directa o indirectamente el uso, desarrollo y gestión de los recursos hídricos y la entrega de servicios relacionados con el agua a diferentes niveles, debe buscarse la manera más adecuada de esta participación.

El problema práctico de la gobernanza del agua no sólo es de incorporación de los actores, privados o la sociedad civil, ni de modificaciones legislativas, depende de una serie de circunstancias sociales, culturales, ambientales y económicas, por lo que es un problema de consenso, de cómo alcanzar el acuerdo, las transacciones y decisiones entre los diversos actores y en la toma de decisiones, y de cómo otorgar el poder a una entidad pública o a otros actores.

Por lo tanto, se reconocen como principios operativos de la gobernanza del agua la responsabilidad, la transparencia, la participación, la equidad, el estado de derecho, la ética y la sensibilidad a la problemática del agua, todos ellos principios democráticos.

La gobernanza del agua implica también la gestión integrada de los recursos hídricos o gestión por cuencas como formas de gestión eficaces; y por otro lado, el reconocimiento de formas de gestión tradicionales para ámbitos locales como el que realizan las comunidades indígenas, basadas en la experiencia y la convivencia armónica con la naturaleza. Y por último, desde la perspectiva urbana, un problema concreto de gobernanza del agua es el relativo al desarrollo de las capacidades locales para la gestión de los recursos hídricos, ya que la ineficacia en el cobro, la prestación del servicio, la medición, etc., que realizan los municipios, o los organismos operadores es ineficiente (INE: 2006).

La gobernanza abarca todo el proceso de determinación de la conducta institucional y no sólo el proceso formal de toma de decisiones, exige un enfoque multidisciplinario y la capacidad de valorar los aportes de las distintas disciplinas involucradas, consiguiendo reducir las amenazas sobre las oportunidades de concretar ganancias mutuas.

En síntesis la gobernanza del agua se refiere al proceso participativo de todos los actores implicados en el uso y consumo de la misma, asumiendo la responsabilidad de cuidarla y sobre todo preservarla a las generaciones futuras.

### **3.1.2 Marco Jurídico**

En el caso de México, el marco jurídico que regula la materia de aguas en el país está representado fundamentalmente por:

- 
- La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en los artículos 27, 28 y 115.
  - La Ley de Aguas Nacionales (LAN), una ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia de aguas nacionales.
  - El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
  - La Ley Federal de Derechos.
  - La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica.
  - La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
  - El Reglamento interior de la Semarnat.
  - La Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
  - La Ley General de Bienes Nacionales.
  - Las leyes estatales en materia de agua promulgadas en las entidades federativas

Ley de Aguas Nacionales en su artículo primero establece que los usos del agua son única y exclusivamente rectoría del Estado Mexicano y así lo describe:

“ARTÍCULO 1. La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.”

Y es a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que como organismo público descentralizado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, ejercerá funciones de Derecho Público en materia de gestión de aguas nacionales, así como de sus bienes públicos inherentes.

El capítulo tres de dicha Ley señala que "La Comisión" tiene por objeto ejercer las atribuciones que le corresponden a la autoridad en materia hídrica y constituirse como el Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico.

El Programa Nacional Hídrico 2014-2018 señala que “en las tres últimas décadas se han multiplicado las iniciativas sociales que demandan acciones del Estado sobre los recursos naturales y el medio ambiente”. Lo anterior derivado de los diversos conflictos que se han presentado y que han comprometido la estabilidad social, económica y política de México y que han aumentado la demanda y competencia por el vital líquido entre los diferentes usuarios.

El Estado de Chihuahua adolece ya de una serie de conflictos por el uso y manejo del agua.

La Ley del Agua del Estado de Chihuahua, publicada en el Periódico Oficial del Estado No. 26 del 31 de marzo de 2012, señala en su artículo 9 lo siguiente:

---

“La Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) es un organismo público descentralizado del Poder Ejecutivo, con personalidad jurídica y patrimonio propios, con funciones de autoridad administrativa para organizar, dirigir, coordinar, evaluar y, en su caso, auditar y fiscalizar a los organismos operadores, en los términos de los artículos 42 y 43 de la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, así como para llevar a cabo el Programa Hidráulico del Estado, en coordinación con las dependencias y entidades estatales vinculadas a la materia del agua”.

Asimismo, el marco jurídico donde se circunscribe la actuación de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento del Municipio de Chihuahua está asentado en el artículo 22 de la Ley del Agua del Estado de Chihuahua, el cual se señala las siguientes atribuciones:

Artículo 22. Las juntas municipales tienen las siguientes atribuciones:

I. Prestar y administrar los servicios de agua, drenaje, alcantarillado, saneamiento, tratamiento de aguas residuales y disposición final de lodos en las poblaciones del municipio de que se trate y acatar las instrucciones administrativas, técnicas, financieras y legales que reciban de la Junta Central.

II. Recaudar los ingresos por concepto de pago de servicios de agua, drenaje, alcantarillado, saneamiento, tratamiento de aguas residuales y disposición final de lodos.

III. Elaborar sus reglamentos interiores.

IV. Formular los programas de obra y someterlos a la aprobación del Consejo Directivo de la Junta Central.

V. Elaborar el informe anual de actividades, para someterlo a la aprobación del Consejo Directivo de la Junta Central.

VI. Proponer a la Junta Central para su aprobación, la designación de sus funcionarios y empleados, así como su estructura orgánica.

VII. Llevar la contabilidad conforme a los lineamientos que le señale la Junta Central.

VIII. Acordar y ejecutar la suspensión de los contratos de adhesión de prestación de servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, saneamiento y tratamiento de aguas residuales, en los términos que establezca el reglamento y respetando en todo momento la garantía de audiencia.

IX. Planear, programar y gestionar el financiamiento para llevar a cabo la construcción de las obras y adquisición de equipos que requieran, para los sistemas de agua, drenaje, alcantarillado, saneamiento, tratamiento de aguas residuales y disposición final de lodos y, en su caso, el alcantarillado pluvial.

X. Practicar y regular periódicamente muestras y análisis del agua, llevar estadísticas de sus resultados y tomar las medidas necesarias para garantizar la calidad del agua que se distribuye a la población, así como vigilar que una vez utilizada, se vierta a los cauces o vasos, de conformidad

---

con la legislación aplicable. XI. Formular el anteproyecto de presupuesto de ingresos y egresos, y someterlo para su aprobación a la Junta Central.

XII. Proponer anualmente para su aprobación a la Junta Central, los derechos de cobro, las tarifas y sus modificaciones por la prestación de los servicios para el cobro de servicios, tomando en cuenta, entre otros, el criterio de estimular y privilegiar el ahorro del agua.

XIII. Las demás que le fijen otras disposiciones legales.

### **3.2 Mapa de riesgos y vulnerabilidad de la ciudad de Chihuahua**

La ciudad de Chihuahua a través del Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), elaboró el Atlas De Riesgos para la Ciudad de Chihuahua, en concordancia con la colaboración de la Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno Federal, cuyo objetivo principal es identificar y describir los peligros naturales que pudieran afectar las condiciones de normalidad de la comunidad e incluso producir catástrofes. En el Atlas de Riesgos de la ciudad se toman en cuenta las condiciones hidrometeorológicas y geológicas, en los que hay que enfocarse para la ordenación, planeación urbana y de prevención.

En el presente estudio resulta de primordial interés el análisis de los fenómenos hidrometeorológicos como las lluvias, granizadas, heladas, nevadas, sequías y temperaturas extremas, dado que impactan en el ciclo hidrológico de la región.

#### **Lluvias extraordinarias**

Dadas las características físicas del municipio, cuando las lluvias y la humedad se intensifican en el territorio municipal, los cauces secos se convierten en ríos caudalosos de rápida respuesta, esta saturación del suelo durante las lluvias intensas en las sub cuencas del norte del municipio y en las áreas recorridas por los ríos Chuvistar y Sacramento, aunado a las propias vulnerabilidades de la ciudad, han evidenciado un alto riesgo a desastres a los largo de la historia, destacando los siguientes eventos:

- La lluvia extrema (tromba) de más de 100mm, registrada el 22 de septiembre de 1991, precipitación que provocó además de inundaciones, muertos, desaparecidos y unos 12 mil damnificados en varios puntos críticos de la ciudad, afectando a más de 2000 viviendas.
- La fuerte tormenta de lluvia presentada el 28 de agosto 2008, que ocasionó más de 50 inundaciones, los arroyos arrastraron vehículos y se evacuaron viviendas por las fuertes corrientes e inundaciones, inclusive, se reportó la desaparición de un hombre que fue arrastrado por la corriente.
- La lluvia presentada el 16 de enero de 2012, después de 15 meses sin lluvia, propicio la inundación en varios municipios de Chihuahua.

- 
- La lluvia extrema del 20 de julio de 2013 generó diversas inundaciones en el municipio de Chihuahua, propiciando que la Presa Chuvistar se desbordara hacia el canal Chuvistar.

De acuerdo al Departamento de Bomberos de la ciudad de Chihuahua en el año 2000, se ubicaron 51 colonias con riesgo de inundación en la ciudad de Chihuahua, durante precipitaciones pluviales fuertes, de ese año al 2006, seis de esas colonias presentaron más de 20 inundaciones en total. El Departamento de Bomberos de la ciudad de Chihuahua y el sistema de Información Procesada (INPRO) de la “Hemeroteca Digital de Chihuahua”, reportan la inundación de 56 colonias entre 1996 y 2006.<sup>8</sup>

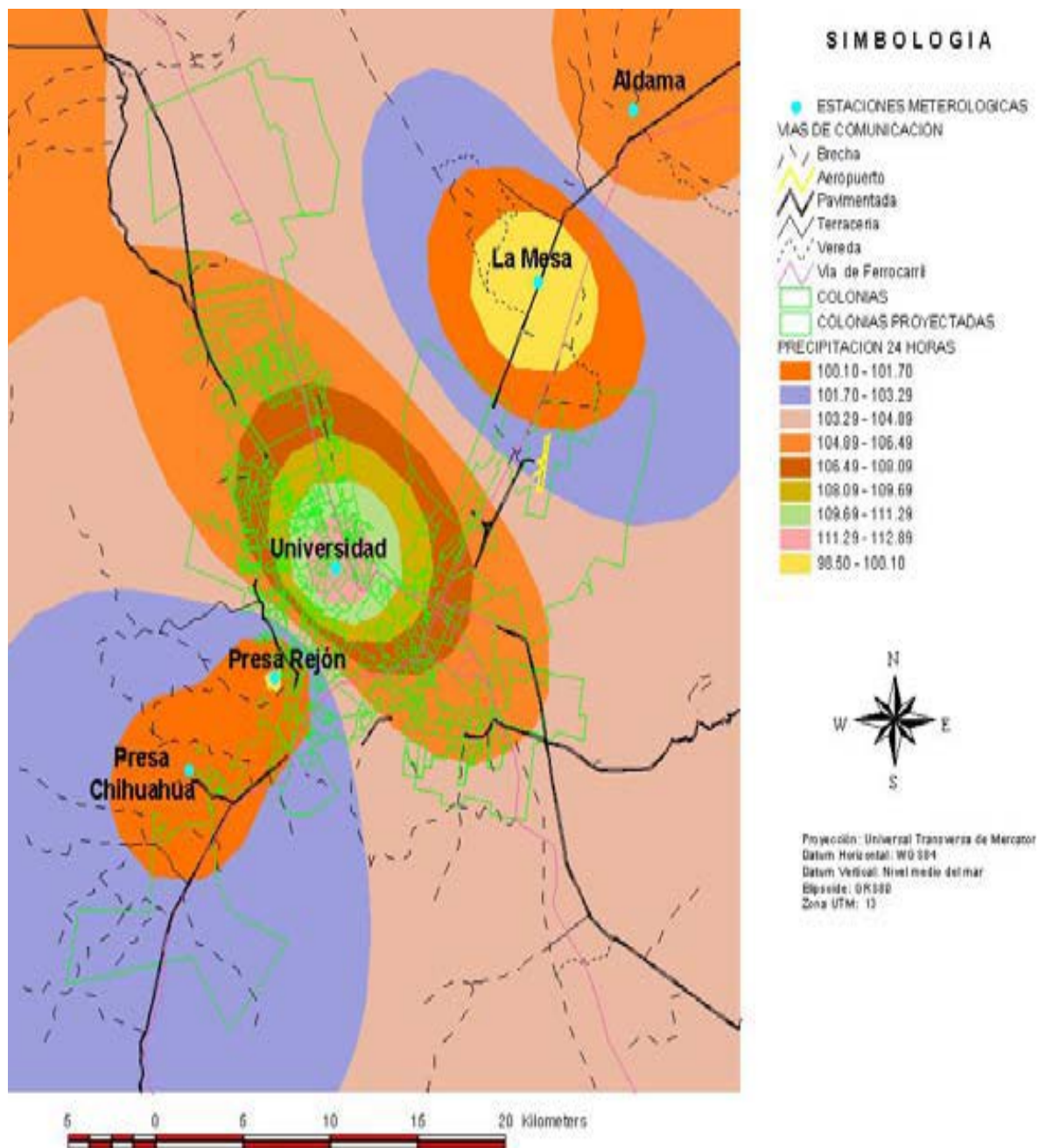
### **Sequía**

En el municipio de Chihuahua también se han presentado periodos de sequía meteorológica, por las bajas precipitaciones (< 80% de la precipitación media) que de forma cíclica cada catorce años, han sucedido, en 1957, 1969, 1989, 1997 y 2011, siendo estos periodos acumulativos y crónicos, en los que se ven afectados los ecosistemas de la cuenca donde se ubica la ciudad de Chihuahua y aquellas en que se localizan los acuíferos de donde se abastece de agua esta urbe.

El efecto negativo está relacionado al escaso desarrollo de la vegetación por la ausencia de humedad producida por las lluvias para el desarrollo de las plantas, y a los tiempos de concentración de los escurrimientos, que desalojan la cuenca rápidamente sin que haya elementos que retarden su flujo aguas abajo y por tanto no ocurra la infiltración. La sequía hidrológica afecta directamente en la falta de agua en los embalses con que cuenta la ciudad de Chihuahua, como las presas Chihuahua y El Rejón, las cuales se habían mantenido relativamente sin agua, hasta el 2013 año, que se tuvo una precipitación atípica dentro del periodo de sequía. Los efectos de la sequía en los acuíferos no es inmediata, puede tener un efecto a mediano plazo, entre 25 y 50 años, IMTA, 2006.

### **Temperaturas Extremas**

Las temperaturas extremas son un fenómeno meteorológico que se caracteriza por la presencia de temperaturas muy bajas o muy altas en una región, que pueden llegar a afectar a una zona urbana. En el municipio de Chihuahua en la temporada invernal se han alcanzado hasta 16° centígrados bajo cero y este tipo de temperatura se puede presentar de noviembre a marzo; un ejemplo reciente de esto es la helada presentada en octubre del año 2013, la cual se presentó en seis municipios del territorio Estatal incluyendo al municipio de Chihuahua en donde se registró una temperatura de menos 6 grados centígrados. Con respecto a las altas temperaturas, en la capital del estado en un periodo de 45 años comprendidos de 1960 a 2005 la temperatura promedio aumentó en 2.33 grados centígrados, de 30.78 en la década de 1960 a 1969 a 32.12 en los últimos 10 años.<sup>9</sup>



**Ilustración 1.-** Distribución de la lluvia máxima para 24 horas de acuerdo al modelo IDW para la ciudad de Chihuahua y zonas colindantes.<sup>10</sup>

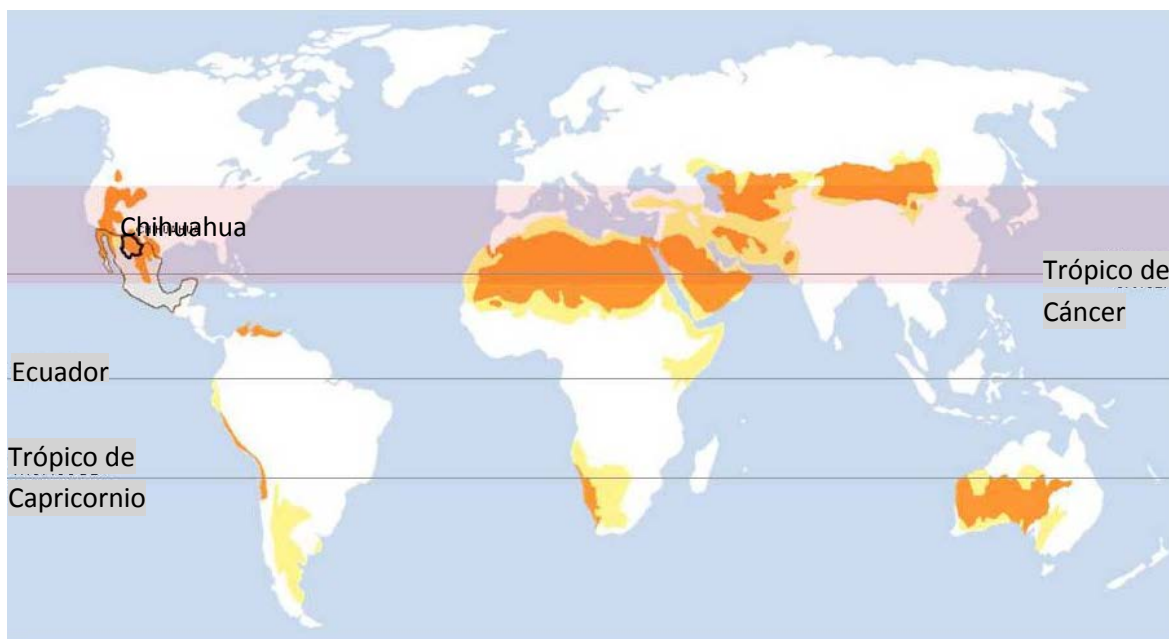
---

## CAPITULO 4. DIAGNOSIS DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA

### 4.1 Características de la ciudad de Chihuahua

El Municipio de Chihuahua (ciudad capital) se encuentra ubicado en el centro del estado del mismo nombre, en la parte norte de la Republica Mexicana, en una posición geográfica entre los paralelos 28° 05' y 29° 48' de latitud norte y los meridianos 105° 41' y 106° 38' de longitud oeste <sup>11</sup>, en la latitud de los grandes desiertos del planeta; a una altitud 1,440 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 9,219 km2 que representa el 3.4% de la extensión territorial total del estado, la superficie que le corresponde a la zona urbana es de 259.53 Km2 la cual tiene una población registrada a 2010 de 819,543 habitantes, Chihuahua cuenta con un clima seco templado, seco semicálido y semiseco templado.

Franja de los Grandes desiertos



*Ilustración 2.- Chihuahua en la franja de los grandes desiertos del mundo. <sup>12</sup>*



**Ilustración 3.-**  
*Ubicación del Estado*  
*Chihuahua dentro de la*  
*República Mexicana* <sup>13</sup>



**Ilustración 4.-** *Ubicación del municipio de*  
*Chihuahua dentro del Estado.* <sup>14</sup>

Para poder plantear cualquier tipo de solución al problema de abasto de agua presentado en la región de estudio, no solo en época de verano como normalmente se considera; es necesario identificar mediante un análisis todas las partes interrelacionadas y los efectos que tienen entre ellas como componentes que conforman el sistema, esto es el balance hídrico actual de la región.



---

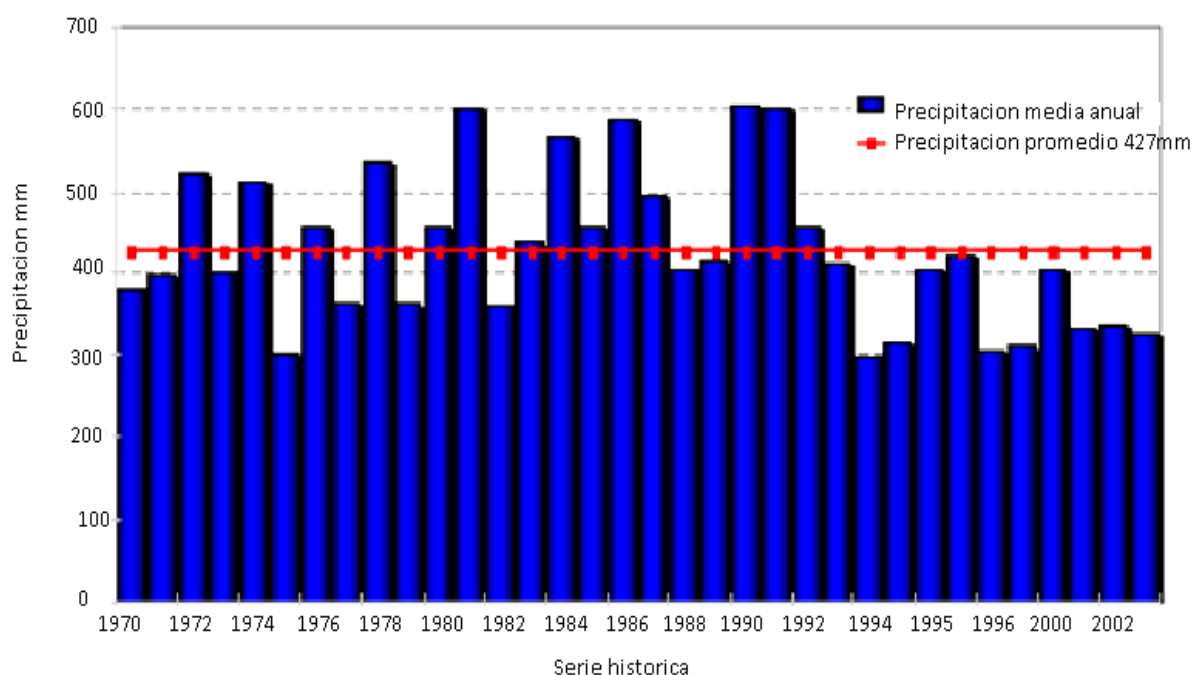
## 4.2 Balance hídrico

### 4.2.1 Disponibilidad de recursos hídricos renovables

Las principales fuentes de agua que se usan para abastecer las necesidades de la comunidad y la industria son las aguas superficiales y las aguas subterráneas, mismas que a la vez funcionan como vasos de almacenamiento, redes de distribución (acueductos) y plantas de tratamiento naturales. La planeación, el diseño y operación sobre la extracción y almacenaje, así como la infraestructura para su purificación, transmisión y distribución son determinados generalmente por la fuente de agua de donde provienen.

#### 4.2.1.1 Pluviometría

La precipitación promedio anual presentada de 1970 a 2002 en la ciudad de Chihuahua correspondió a de 427.2 mm.

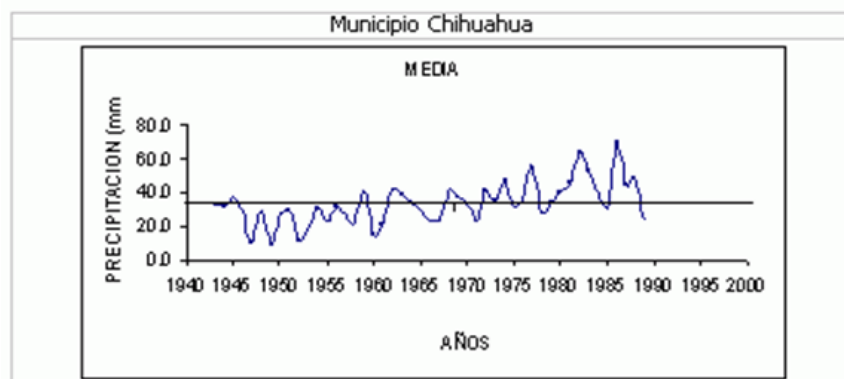


**Ilustración 5.-** Precipitación pluvial de tres décadas en la Ciudad de Chihuahua (Muñoz et al. 2004).<sup>15</sup>

De acuerdo a los datos registrados por el Sistema Meteorológico Nacional de la estación 00008165, para el periodo de 60 años comprendido de 1940 a 2000 que se muestra en la tabla siguiente, describe el comportamiento histórico de periodos secos y húmedos por estación.

**Tabla 1.-** Secuencia histórica de periodos secos y húmedos con duración mayor a un año <sup>16</sup>

Municipio de Chihuahua (Centro)					
Periodos secos			Periodos húmedos		
Fecha	Duración	Magnitud	Fecha	Duración	Magnitud
1950-1962	13 años	67%	1967-1968	2 años	109%
1964-1965	2 años	53%	1972-1973	2 años	117%
1969-1971	3 años	76%	1980-1981	2 años	141%
1993-1995	3 años	65%	1984-1988	5 años	144%
			1990-1992	3 años	162%



**Ilustración 6.-** Grafica de la precipitación promedio mensual <sup>16</sup>

Se muestra una fuerte variabilidad de la precipitación alrededor del valor normal, con periodos secos y húmedos a lo largo de la serie, con un promedio anual de 405.6 milímetros, de acuerdo al análisis de precipitación histórica se observa una sequía prolongada de 13 años de 1950 a 1962, considerada como severa de acuerdo a la magnitud 67% y a la duración.

**Tabla 2.-** Precipitación Mensual de 1940 a 1990 <sup>17</sup>

ESTACIÓN	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROMEDIO ANUAL
C. Deportiva	9.8	6.0	4.7	10.1	18.2	41.7	98.5	104.7	80.8	24.1	7.9	12.1	418.5
P. El Rejón	9.3	6.1	4.7	12.2	20.6	33.8	107.1	101.2	86.6	27.8	6.9	11.2	427.6
P. Chihuahua	8.3	5.6	4.0	8.3	17.5	44.8	102.4	116.5	84.3	24.6	8.2	10.9	435.3
Promedio total	9.1	5.9	4.5	10.2	18.7	40.1	102.7	107.5	83.9	25.5	7.7	11.4	427.2

Del agua que se precipita sobre el territorio, el 47.94% escurre fuera de la cuenca a la Boquilla de Aldama causando en su trayectoria caos vial e inundaciones en ciertos sectores de la ciudad,

mientras que sólo 3.36% del total se retiene en las presas, un 8% aproximadamente se infiltra al acuífero, y el 40.70% restante se evapora o es absorbido por la vegetación y el suelo superficial<sup>16</sup>

En el estado, históricamente la temperatura más alta de que se tenga registro se produjo en 2008 con 47.5 °C y la más baja en 2011 con -27 °C, para el municipio de Chihuahua las temperaturas extremas que se registran van de 39.0 °C a los -7.4 °C, la temperatura media anual es de 16.95 °C, las temperaturas más bajas se presentan entre los meses de noviembre a febrero y los valores máximos es entre los meses de mayo y agosto.

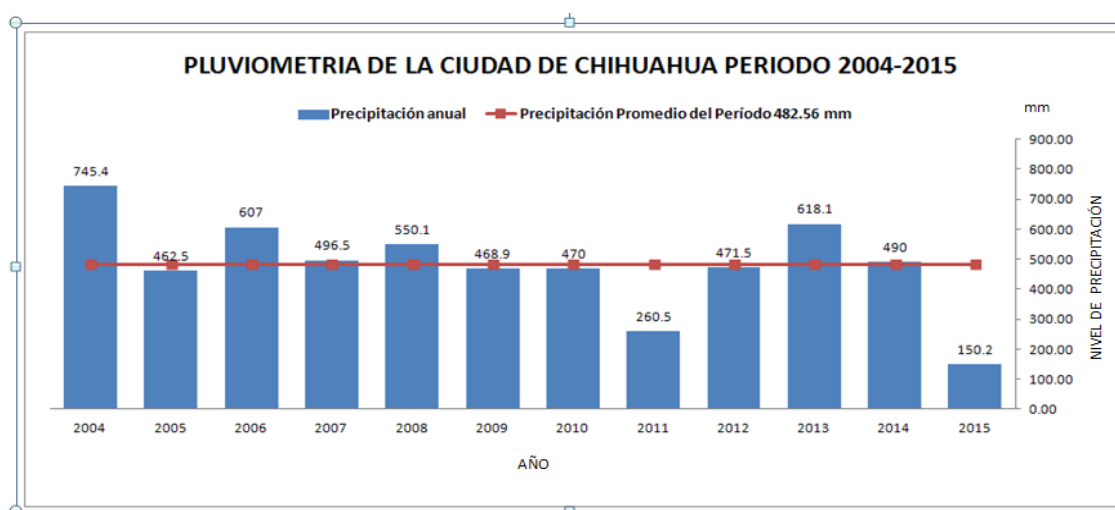
En el periodo considerado 1943-1995 la temperatura alcanzó un valor promedio máximo de 19.5°C y un mínimo de 16.4°C

**Tabla 3.-** Temperatura media mensual<sup>16</sup>

ESTACIÓN	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROMEDIO ANUAL
Cd. Deportiva	8.2	11.0	13.6	17.5	22.1	25.1	23.7	23.0	20.9	17.3	12.7	8.9	16.8
P. El Rejón	8.7	10.8	13.9	17.6	21.7	25.2	24.3	22.8	20.9	17.3	12.4	9.2	17.1

La relación entre la temperatura y la precipitación anual, presenta una alta correlación negativa, los periodos de incremento en los valores de temperatura tienden a provocar eventos de sequía más severos

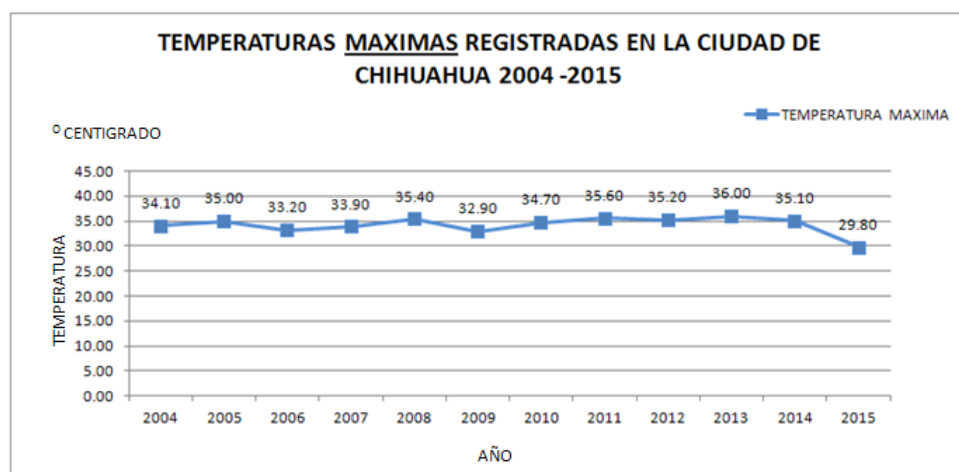
En la Ciudad de Chihuahua, la temperatura media anual es de 18.2° C con media máxima de 37.7° C y media mínima de -7.4° C. La temperatura máxima extrema ocurrió en el año de 1939 y fue de 41.2° C y la mínima extrema en 1949 y fue de -15.0° C. Los grados horas calor son de 2,855 horas y los grados horas frío de 736.8 horas. La precipitación pluvial mayor anual ocurrió en 1986 con 762.3 mm y la menor anual en 1982 con 236.5 mm, existiendo 3 días con granizo y 3 días con nevada. Hay 71 días de lluvias al año y una humedad relativa de 49%.



**Ilustración 7.-** Precipitación Promedio anual Periodo 2004-2015 (elaboración propia)<sup>18</sup>

**Tabla 4.-** Temperaturas máximas registradas en la Ciudad de Chihuahua, periodo 2004-2015 <sup>18</sup>

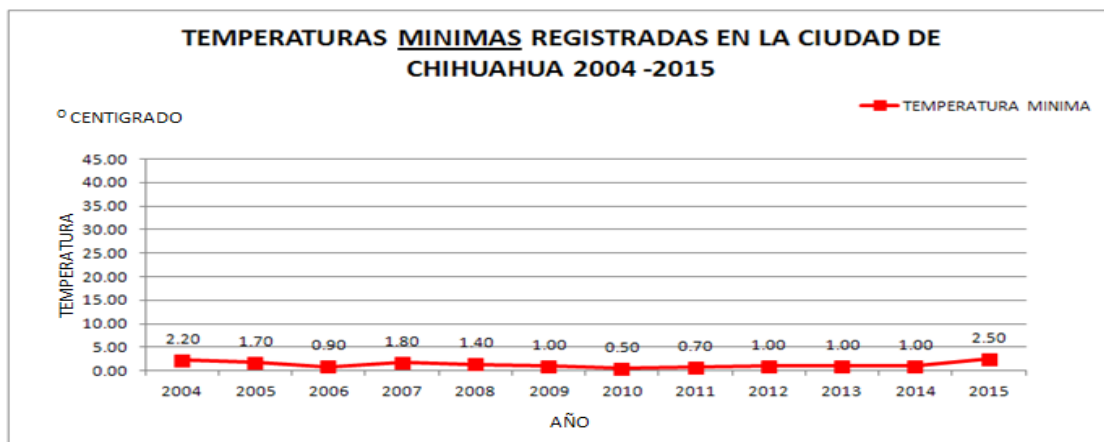
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2015	17.30	22.10	22.00	27.90	29.80								9.93
2014	19.70	24.20	24.40	27.60	30.70	35.10	32.30	30.30	29.30	29.30	21.20	20.30	27.00
2013	17.20	21.00	25.70	28.90	31.00	36.00	31.60	31.70	29.10	27.40	20.80	18.40	26.60
2012	21.40	20.80	25.70	33.00	32.60	35.20	30.60	32.10	29.20	28.70	24.00	20.70	27.80
2011	20.20	23.10	28.60	31.20	33.30	35.60	32.60	32.70	31.60	28.70	22.60	17.80	28.20
2010	17.80	18.60	23.10	27.50	31.80	34.70	30.60	31.80	31.10	28.10	23.60	23.10	26.80
2009	20.70	24.00	25.50	27.70	31.70	32.90	31.40	31.50	29.40	25.70	22.70	18.10	26.80
2008	18.70	22.90	24.90	29.50	31.20	35.40	29.60	28.90	27.30	28.00	23.60	21.00	26.70
2007	16.00	21.30	26.90	28.30	31.90	33.90	31.50	31.50	30.20	28.80	24.60	20.30	27.10
2006	21.20	23.70	25.20	30.00	32.60	33.20	31.50	29.40	28.10	27.00	24.60	18.70	27.10
2005	19.70	18.90	22.60	27.70	31.60	35.00	33.30	30.40	32.20	28.20	24.80	20.90	27.10
2004	17.90	20.00	26.10	27.10	33.10	34.10	32.80	31.70	30.10	27.40	20.40	19.10	26.60



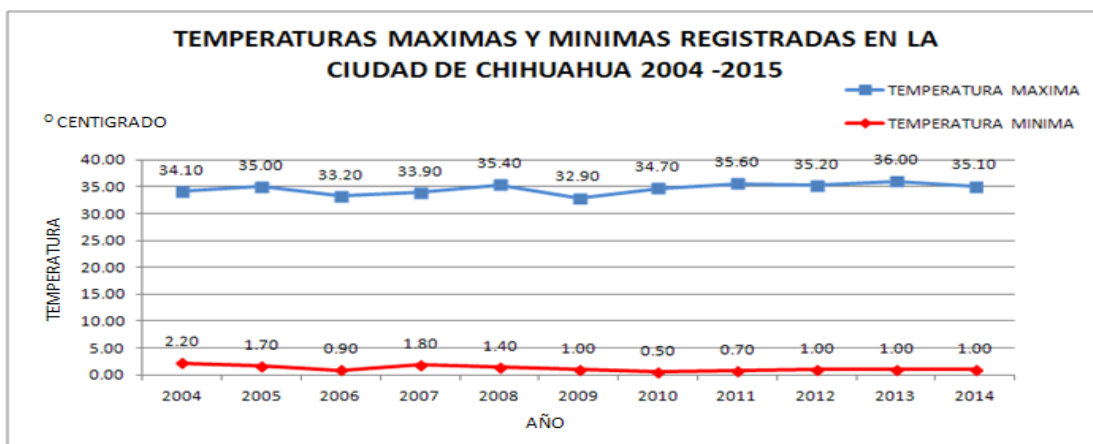
**Ilustración 8.-** Temperatura máxima registrada, Periodo 2004-2015 (elaboración propia) <sup>18</sup>

**Tabla 5.-** Temperaturas mínimas registradas en Chihuahua, periodo 2004-2015 <sup>18</sup>

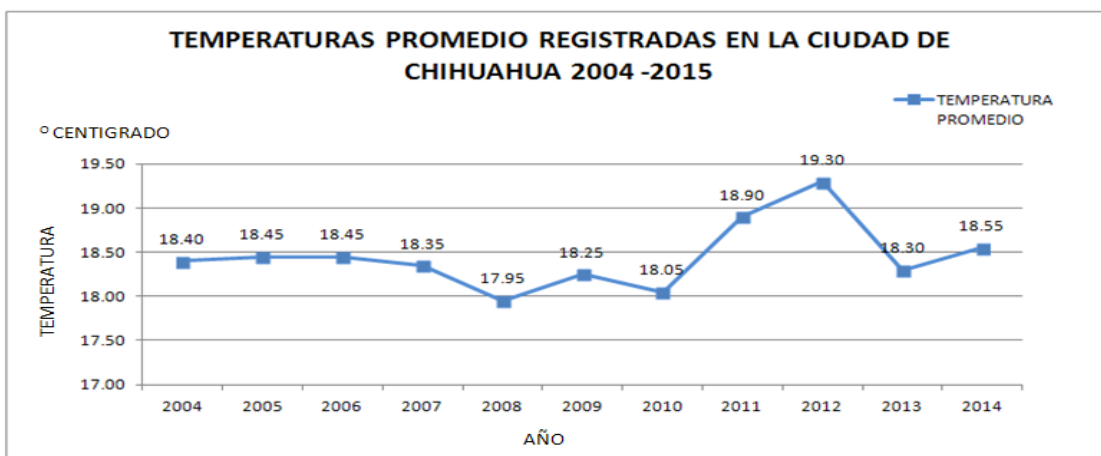
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2015	2.50	5.00	7.00	11.10	11.70								3.11
2014	1.00	3.90	6.60	8.80	11.60	17.90	18.00	16.90	17.00	11.90	4.60	2.60	10.10
2013	1.00	2.30	5.50	8.90	12.80	18.80	18.50	17.50	16.10	10.10	6.00	2.80	10.00
2012	1.00	3.40	5.40	17.10	14.00	18.00	17.50	17.70	14.50	11.20	6.80	2.80	10.80
2011	0.70	0.80	7.00	10.50	12.70	17.80	18.30	17.20	15.00	9.90	4.20	0.80	9.60
2010	0.50	1.60	3.60	8.70	11.40	16.60	17.20	16.70	22.10	9.50	3.20	0.90	9.30
2009	2.20	3.10	6.80	8.40	13.30	16.90	16.80	17.50	14.50	11.00	4.40	1.00	9.70
2008	1.40	2.30	4.00	8.10	12.10	17.70	16.50	16.20	14.60	10.60	4.70	2.70	9.20
2007	1.80	2.10	6.30	8.30	11.70	16.40	16.90	17.10	15.80	10.30	5.90	2.30	9.60
2006	1.70	5.00	6.10	10.20	13.40	16.80	16.80	16.20	14.50	10.70	4.80	0.90	9.80
2005	4.20	4.40	4.70	8.50	12.30	16.00	18.00	16.50	16.00	11.30	4.40	1.70	9.80
2004	3.30	2.20	7.50	9.50	14.00	16.60	17.60	17.40	15.20	11.50	4.70	2.30	10.20



**Ilustración 9.-** Temperaturas mínimas presentadas, periodo 2004-2015 (elaboración propia) <sup>18</sup>



**Ilustración 10.-** Temperaturas máximas y mínima presentada en la ciudad de Chihuahua, periodo 2004-2014 (elaboración propia) <sup>18</sup>



**Ilustración 11.-** Temperaturas Promedio presentada en la ciudad de Chihuahua, periodo 2004-2014 (elaboración propia) <sup>18</sup>

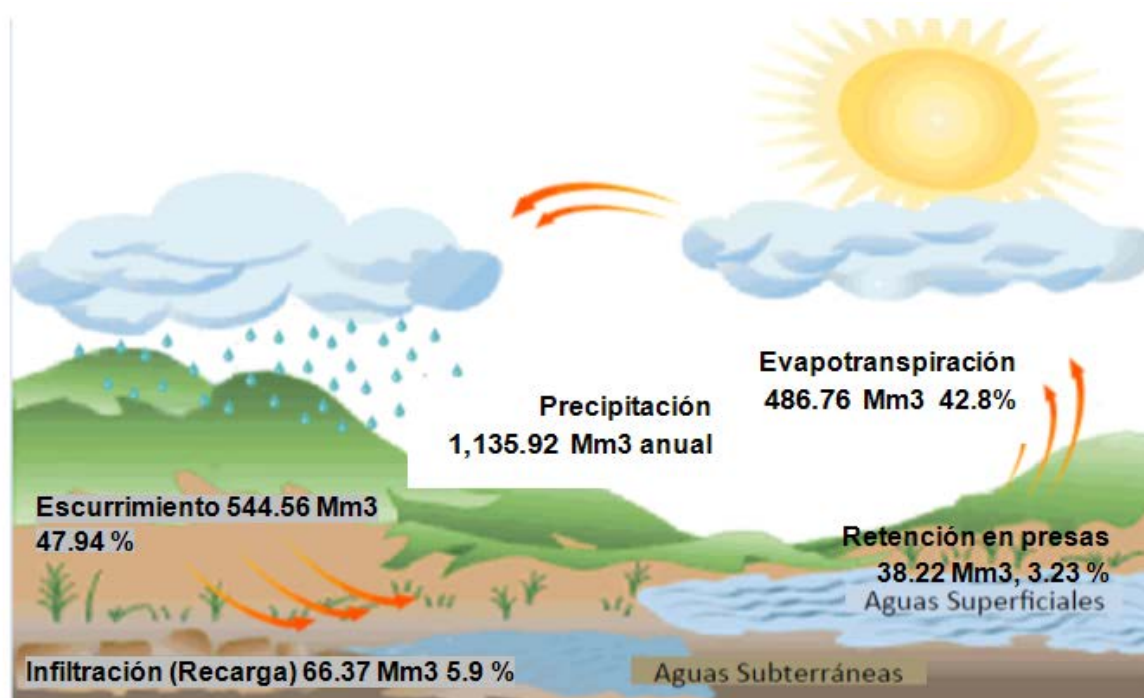
#### 4.2.1.2 Gestión Integral del Ciclo del Agua

El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra está siempre en movimiento y cambia constantemente de estado: líquido, vapor, hielo y viceversa. El ciclo del agua ha estado ocurriendo por miles de millones de años, y la vida sobre la Tierra depende de él; este planeta sería un sitio inhóspito si el ciclo del agua no tuviese.

En la ciudad de Chihuahua, del total de precipitación (100%), alrededor de un 40% se pierde por escorrentías y únicamente el 3% se retiene en presas (IMPLAN, 2006). El resto del recurso se evapora o se infiltra.<sup>19</sup>

**Tabla 6.-** Precipitación anual promedio <sup>17</sup>

PRECIPITACION MEDIA ANUAL	427.2 mm	
AREA TOTAL DE LA CUENCA	2,659 Km2	
VOLUMEN TOTAL QUE PRECIPITA	1,135.92 Mm3	100.00%
VOLUMEN QUE SALE DE LA CUENCA (Boquilla de Aldama)	544.56 Mm3	47.94%
VOLUMEN QUE SE RETIENE EN PRESAS (Máximo)	38.22 Mm3	3.36%
VOLUMEN INFILTRADO Y EVAPOTRANSPIRADO	553.14 Mm3	48.70%



**Ilustración 12.-** Ciclo hidrológico en Chihuahua. <sup>12</sup>

#### 4.2.1.3 Agua Superficial

Las fuentes de aguas superficiales (arroyos, manantiales, lagos, presas y ríos) que se localizan en Chihuahua son pocas: 3 presas, 2 ríos y 22 arroyos, mismos que en total suman una longitud de 191 kilómetros, de los cuales el cauce de 108 kilómetros se encuentra sin revestir y destacan cerca de 4 kilómetros lineales de zonas arboladas. <sup>20</sup>

**Tabla 7.-** Presas de la ciudad de Chihuahua <sup>19</sup>

	UBICACIÓN	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO M3	CAPACIDAD UTIL M3
<b>Presa Chihuahua (1960)</b>	Sobre el río Chuviscar	32 millones	
<b>Presa El Rejón (1965)</b>	Sobre el arroyo Rejón	6.6 millones	2.3 millones
<b>Presa Chuviscar (1910)</b>	Sobre el río Chuviscar	2.1 millones	El azolve cubre el 71% de su capacidad útil por lo que no se puede operar, sirviendo únicamente para control de avenidas

Principales ríos y arroyos: Río Sacramento y Río Chuviscar

El río Sacramento nace en la sierra alta de Majalca, al noreste de la ciudad de Chihuahua hasta derivar su caudal a la presa San Marcos, donde es retenida la mayor parte de su escurrimiento, su gasto es incrementado con algunos afluentes de aguas residuales hasta desembocar al río Chuviscar. Sus principales tributarios son algunos arroyos de carácter intermitente.

El Río Chuviscar nace en un punto llamado Cañada del Chivato, en el municipio de Chihuahua, se dirige hacia el este y es represado en las presas Chihuahua y Chuviscar, está última ya en las inmediaciones de la ciudad de Chihuahua a la que el río divide en dos mitades, durante todo su trayecto urbano se encuentra canalizado, en el extremo de la ciudad recibe el agua de su principal afluente el río Sacramento.

**Tabla 8.-** Arroyos que atraviesan el área urbana <sup>19</sup>

1. Los Arcos	2. El Barro	3. Galera Norte	4. El Mármol
5. Nogales Norte	6. La Canoa	7. Galera sur	8. Villa Juárez
9. El Picacho	10. El Chamizal	11. La Cantera	12. Concordia
13. Magallanes	14. La Manteca	15. Plaza de Toros	16. Tabalaopa
17. El Mimbres	18. San Rafael	19. Malvinas(acueducto)	20. Nogales Sur
21. El Saucito	22. San Jorge		

---

#### 4.2.1.4 Agua Subterránea

El agua subterránea es una parte vital del sistema de agua dulce del mundo, las fuentes subterráneas son todos aquellos pozos de los que se bombea el agua para abastecer la demanda de la comunidad. Algunos atributos que el agua subterránea presenta por naturaleza y que le confieren ciertas ventajas son que tienen menores pérdidas por evaporación, menor exposición a la contaminación, disponibilidad menos afectada por las variaciones climáticas, amplia distribución espacial, no hay pérdida de la capacidad de almacenamiento y mantiene una temperatura del agua constante. La importancia del agua subterránea en regiones áridas extensas es mayor, ya que el subsuelo es la principal y la única fuente de agua de forma permanente.

En Chihuahua el agua que se extrae de los acuíferos es ‘agua fósil’, que tarda miles de años en acumularse (Glennon 2005, Moreno 2006); mucha del agua subterránea (limpia, fría y de movimiento lento) se ha almacenado en los acuíferos hasta por 10,000 años (Kidd 2002). En las regiones áridas y semiáridas la escasa alimentación de los acuíferos se agrava por la sequía.<sup>21</sup>

**Tabla 9.-** Nivel de almacenamiento de acuerdo al periodo de retorno<sup>22</sup>

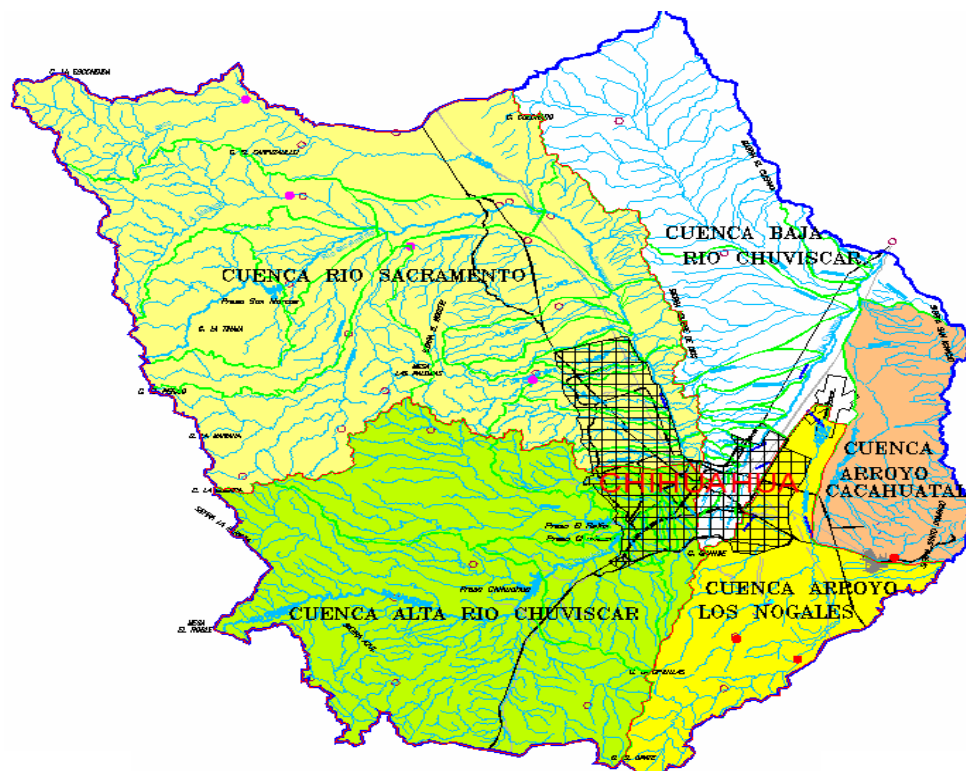
<b>Pptn en 24 hrs ( mm)</b>	52.8	70.2	83.3	96.4	114	127	157	170	214
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	2	5	10	20	50	100	500	1,000	10,000

Las Principales cuencas hidrológicas que impactan a la ciudad se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 10.-** Cuencas hidrológica que impactan la ciudad de Chihuahua<sup>21</sup>

<b>CUENCA</b>	<b>AREA (KM2)</b>	<b>SITIO DE DESCARGA</b>
Sacramento	1,076	Hasta confluencia Rio Chuviscar
Cca Alta Chuviscar	774	Hasta confluencia Rio Sacramento
Cca Baja Chuviscar	409	De confl Rio Sacr a Boquilla Aldama
Arroyo Los Nogales	238	Hasta confluencia Rio Chuviscar
Arroyo Cacahuatal	162	Hasta confluencia Rio Chuviscar
<b>TOTAL</b>	<b>2,659</b>	<b>BOQUILLA DE ALDAMA</b>

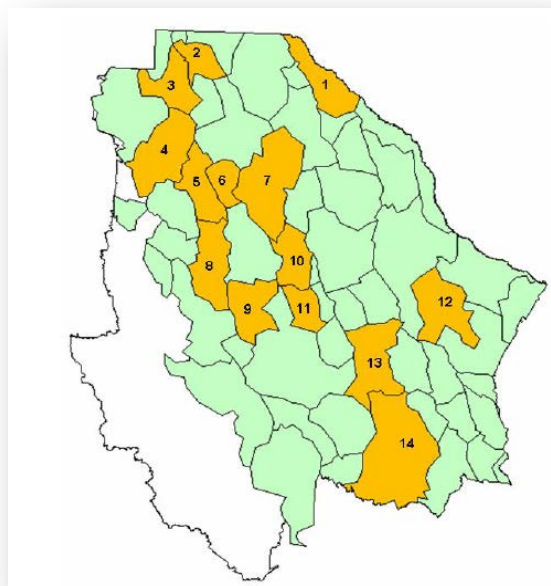




**Ilustración 13.-** Cuencas hidrológicas que impactan a la ciudad de Chihuahua <sup>21</sup>

En el estado de Chihuahua se tienen identificados 61 acuíferos; de los cuales 14 de ellos están en condición de sobre-explotación, en estos acuíferos, el balance entre la recarga natural y el volumen aprovechado por la población es negativo. El resto de los acuíferos se encuentran sub explotados o cercanos a la condición de equilibrio. <sup>21</sup>

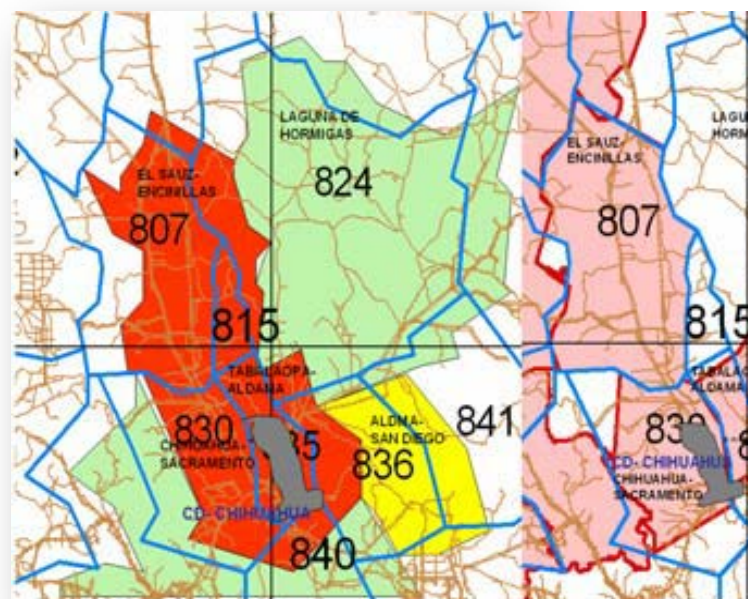
1. Valle de Juárez,
2. Palomas – Guadalupe Victoria,
3. Ascensión,
4. Casas Grandes,
5. Buenaventura,
6. Laguna la Vieja,
7. Flores Magón – Villa Ahumada,
8. Baja Babícora,
9. Cuauhtémoc,
10. El Sauz - Encinillas,
11. Chihuahua – Sacramento,
12. Los Juncos,
13. Meoqui – Delicias y
14. Jiménez – Camargo



**Ilustración 14.-** Ubicación de los acuíferos sobre-explotados <sup>21</sup>

En el caso específico de la Ciudad de Chihuahua esta se abastece en un 99% de agua subterránea, misma que proviene o se extrae de 6 acuíferos que pertenece a la cuenca del Río Conchos cuyo cauce nace en la Sierra Tarahumara, estos acuíferos se usan para el consumo humano y también son aprovechados para la agricultura, de estos acuíferos tres se ubican en la ciudad y los otros tres se encuentran aledaños a la misma: <sup>11</sup>

1. 807- Acuífero el Sauz-Encinillas
2. Acuífero Laguna del Diablo
3. 824 - Acuífero Laguna de Hormigas
4. 830 - Acuífero Chihuahua-Sacramento  
(en la ciudad)
5. 815 - Acuífero Tabalaopa-Aldama (en la ciudad)
6. 836 - Acuífero Aldama-San Diego (en la ciudad)



*Ilustración 15.- Ubicación de los acuíferos* <sup>23</sup>

- a) Acuífero el Sauz – Encinillas (807) cubre una superficie de 2743 km<sup>2</sup> y tiene un total de 623 aprovechamientos, de los cuales 523 son pozos y 100 son norias. De los pozos, 392 son activos y 131 inactivos, de las norias 30 se encuentran activas mientras 70 son inactivas. Precipitación media anual es de 474 mm. La temperatura media anual es de 14.8° C y presenta una variación con mayor intensidad durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, y los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero. En cuanto a la evaporación potencial, su valor es del orden de 1675 mm/año. <sup>24</sup>
- b) Acuífero Laguna del Diablo (815), cubre una superficie de 307 km<sup>2</sup> tiene 19 aprovechamientos de los cuales 15 son pozos y 4 son norias. Del total, 9 se encuentran activos y 10 inactivos. <sup>25</sup>
- c) Acuífero Laguna de Hormigas (824), cubre una superficie de 6,015.24 km<sup>2</sup>, existen 215 aprovechamientos activos. <sup>26</sup>
- d) El acuífero Chihuahua – Sacramento (830) cubre una superficie de 1889 km<sup>2</sup>, con un total de 602 aprovechamientos, de los cuales 331 se encuentran activos y los 271 restantes inactivos, 527 son pozos y 75 norias. <sup>27</sup>
- e) El Acuífero Tabalaopa – Aldama (835) cubre una superficie de 728 km<sup>2</sup>, tienen un total de 344 captaciones del agua subterránea, de las cuales 210 corresponden a pozos y 134 a norias. <sup>28</sup>

- f) Acuífero Aldama – San Diego (836) cubre una superficie aproximada de 1,620 km<sup>2</sup>, con un total de 212 aprovechamientos, de las cuales 171 son pozos, 39 norias y 2 manantiales.<sup>29</sup>

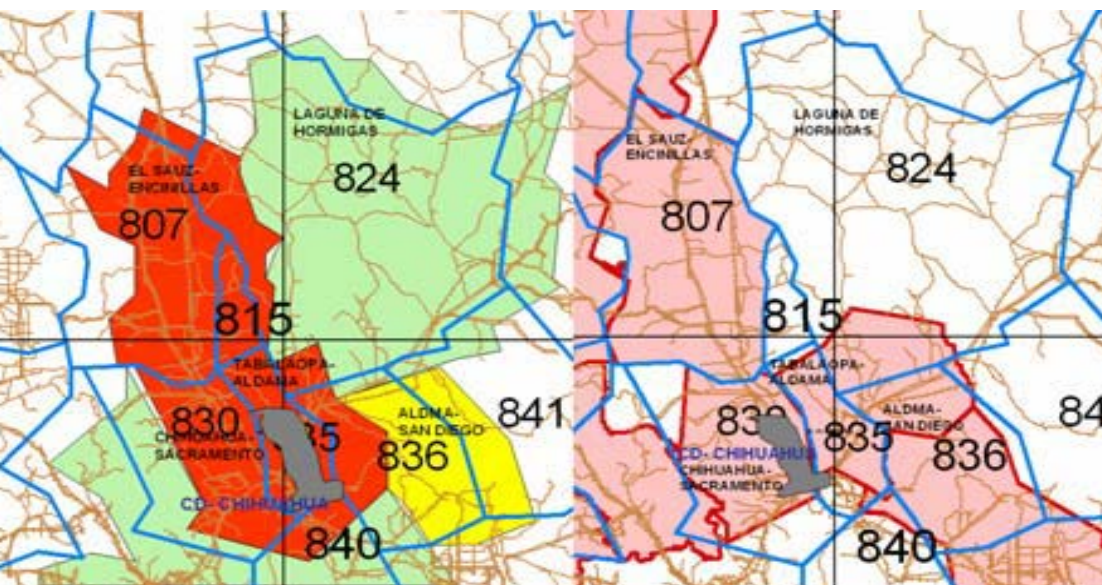
## 4.2.2 Usos del agua en la ciudad de Chihuahua

### 4.2.2.1 Nivel de explotación de los acuíferos

A nivel mundial se pronostica que el norte y centro de México serán una de la regiones con mayor escasez de agua en los próximos 25 años (Vorosmarty et al. 2000), ya que para el año 2025 se estima que el agua disponible por habitante/año se reducirá en un 30% (Lacoste 2003).

**Tabla 11.-** Situación actual de los acuíferos <sup>28</sup>

ACUIFERO	RECARGA millones m <sup>3</sup> /año	EXTRACCIÓN millones m <sup>3</sup> /año	ABATIMIENTO millones m <sup>3</sup> /año	SITUACIÓN
(807) Acuífero el Sauz-Encinillas	106.5	118.2	1.4	sobre explotado
(815) Acuífero Laguna del Diablo	4.3	0.22	0.0	Sub explotado
(824) Acuífero Laguna de Hormigas	64.0	16	0.0	Sub explotado
(830) Acuífero Chihuahua-Sacramento	65.8	120.5	1.0	sobre explotado
(835) Acuífero Tabalaopa-Aldama	55.1	66.1	1.2	sobre explotado
(836) Acuífero Aldama-San Diego	35.2	21.1	0.6	Sub explotado sin disponibilidad

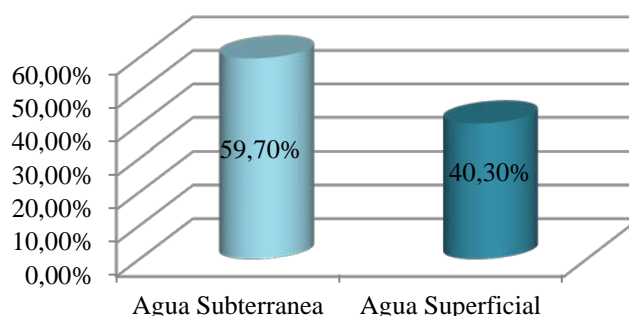


**Ilustración 16.-** Acuíferos con decreto de veda <sup>22</sup>

De acuerdo a la tabla anterior, es sumamente necesario analizar integralmente la cuenca del Conchos, debido a la escasez de agua, se requiere identificar donde el agua es abundante y donde es posible optimizar su uso, tomando en cuenta que el volumen de agua subterránea para el abasto del consumo humano en la Ciudad de Chihuahua concesionado a la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS) es 150.2 millones de m<sup>3</sup> anuales, correspondientes a un (9.30%) el cual es menor comparado con el uso agrícola que representa el (89.24%). El gasto medio de extracción de los acuíferos de Sauz Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama es de 4.70 m<sup>3</sup>/seg.<sup>11</sup>

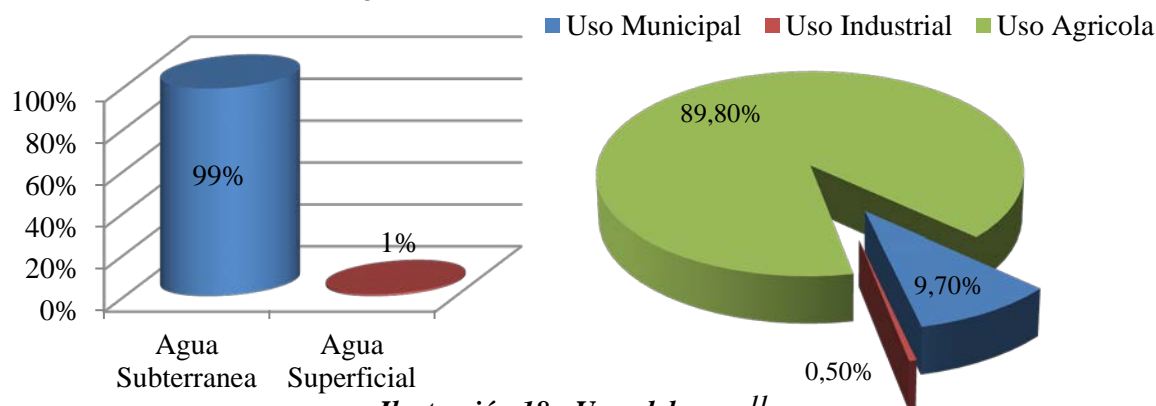
#### 4.2.2.2 Usos del agua

Del volumen total de agua que se aprovecha en el Estado, aproximadamente 5,400 millones de metros cúbicos anuales, 40.3 por ciento proviene de escurrimientos superficiales, mientras que el 59.7 por ciento restantes de agua subterránea (*Ilustración 17*). La actividad agrícola consume el 89.8 por ciento, el uso municipal –urbano, rural y pecuario – emplea el 9.7 por ciento, mientras que la actividad industrial autoabastecida utiliza el restante 0.5 por ciento.



*Ilustración 17.- Porcentajes de agua en base al origen <sup>11</sup>*

La distribución del agua en Chihuahua de acuerdo a sus usos es de la siguiente forma: el sector agrícola emplea el 89.76%, seguido del uso municipal con el 9.24%, finalmente la industria emplea el 1% restante. (Conferencia de gobernadores fronterizos 2005)



*Ilustración 18.- Usos del agua <sup>11</sup>*



---

El volumen de extracción estimado en el Acuífero el Sauz-Encinillas 807- asciende a 127.2 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales 105.5 hm<sup>3</sup> (82.9 %) se destinan para uso agrícola, 2.8 hm<sup>3</sup> (2.2 %) para uso doméstico-abrevadero, 18.7 hm<sup>3</sup> (14.7%) para uso público-urbano y los 0.2 hm<sup>3</sup> restantes (0.2%) para satisfacer la necesidades del sector industrial y otros.

Acuífero Laguna del Diablo (815) Las captaciones activas son pozos principalmente para uso pecuario. Se estima que la extracción total es del orden de 200,000 metros cúbicos, cuyo uso principal es el pecuario y doméstico.

Del Acuífero Laguna de Hormigas - 824 se extraen 12.2 millones de metros cúbicos anuales, destinando el 98 por ciento para uso agrícola y para uso doméstico, el 2 por ciento restante.

El volumen de extracción total calculado en el acuífero Chihuahua – Sacramento es de 67.2 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales 52.4 hm<sup>3</sup> (78 %) se destinan al abastecimiento de agua potable, principalmente para la ciudad de Chihuahua, 10 hm<sup>3</sup> (15 %) para uso agrícola y los 4.8 hm<sup>3</sup> restantes (7 %) para otros usos menores.

835 - Del total de aprovechamientos, 122 (35.4 %) se destinan al uso agrícola, 84 (24.5 %) al uso público - urbano, 61 más (17.7 %) para uso doméstico, 44 (12.9 %) para usos múltiples, 19 (5.4 %) para uso pecuario y los 14 restantes (4.1 %) para uso Industrial. <sup>11</sup>

836-Del total de los 212 aprovechamientos, 132 se destinan al uso agrícola, 45 a usos múltiples, 20 a uso doméstico y 15 a varios usos. El volumen de extracción total es de 63.6 millones de metros cúbicos anuales, de los cuales, 56.4 millones de metros cúbicos anuales, equivalentes al 88.7 por ciento, son para uso agrícola; 4.1 millones de metros cúbicos anuales, que corresponde al 6.5 por ciento, para usos múltiples; 2.0 millones de metros cúbicos anuales, que representan el 3.1 por ciento, se destina para uso público urbano; 0.8 millones de metros cúbicos anuales, equivalentes a 1.2 por ciento, es para uso doméstico y el resto para otros usos.

---

#### **4.2.2.3 Servicios disponibles**

En la zona urbana de Chihuahua existen 245 mil tomas domiciliarias cuya agua proviene de 122 pozos que se distribuyen a 69 tanques de almacenamiento desde donde es bombeada a través de una red de de agua potable de 3,200 Km que incluye líneas generales y domiciliarias y adicionalmente mediante pipas se distribuyen 19,000 m<sup>3</sup>. La red de de agua potable tiene una cobertura del 96.3%, sin embargo las fugas llegan a representar del 10 – 30 % del volumen total.

La extensión de líneas generales y descargas es de 2,900 Km, dicho servicio de alcantarillado sanitario cubre el 92 % de la ciudad. <sup>11</sup> El INEGI 2005, reporta que 189,416 viviendas disponen de agua entubada de la red pública y 190,417 cuentan con servicio sanitario, 1,457 viviendas habitadas (0.71%) no cuentan con el servicio de alcantarillado sanitario. La cobertura de la red de agua tratada es de 143 Km.

---

#### **4.2.2.4 Consumo de agua per cápita**

El consumo de agua es indicador mide la cantidad de litros de agua consumida por habitante al día en la ciudad, muestra el uso racional o irracional de uno de los recursos naturales más necesarios.

En algunos países desarrollados el consumo de agua es de 300 litros diarios por persona, frente a los 100 sugeridos por la Organización Mundial de la Salud como el mínimo necesario para cubrir las necesidades vitales e higiénicas.

Según datos extraídos del Plan Director Urbano Visión 2040 en la ciudad de Chihuahua en la actualidad, la demanda de agua es de 4,402 litros por segundo y la oferta de agua es de tan solo 3,619 litros por segundo, por lo que existe una sobredemanda de agua de 783 litros por segundo.

El volumen concesionado de agua subterránea para el abasto de agua para consumo humano para la Ciudad de Chihuahua a la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS) es 150.2 millones de m<sup>3</sup> anuales, que se extraen de los acuíferos de Sauz Encinillas, Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama, lo que representa un gasto medio de extracción de 4.70 m<sup>3</sup>/segundo.

De acuerdo al (INEGI 2010) la cantidad promedio de agua consumida por habitante al día en la ciudad de Chihuahua donde la población corresponde a 819,543 habitantes, es de 380 litros, superior en un 38% a la media nacional que corresponde a 275 litros por persona al día.

Algunos de los factores que tienen gran influencia en el incremento del consumo de agua de forma excesiva son los siguientes:

1. Actividad industrial.
2. Medidores individuales por casa.
3. Sistema de manejo de agua eficiente.
4. Nivel de vida.
5. Clima.

Otros factores que también influyen el consumo de agua pero de forma positiva reduciendo la cantidad son: la extensión del drenaje, los sistemas de presión, el precio del agua, la disponibilidad de los pozos privados. La influencia de la industria impacta en el incremento de la demanda de agua por persona. Las poblaciones rurales y suburbanas pequeñas usan menos agua por persona que las comunidades industrializadas. La industria, probablemente, es el único factor que influye mucho más en el incremento de uso de agua por persona que cualquier otro.

El uso de medidores individuales es otro factor importante sobre el uso del agua, dado que la medición del consumo de agua impone un sentido de responsabilidad en relación a la diferencia de la forma de consumo de los hogares en donde no se encuentra medidor o este no funciona. La reducción del consumo de agua per cápita se da porque los usuarios reparan las fugas de agua y casi siempre hacen decisiones más conservativas, sin tomar en cuenta el precio del agua dado que en

Chihuahua es tan barato, que este no es un factor determinante a considerar para la reducción del consumo del vital líquido.

Si el sistema de distribución del agua está bien manejado (seguimiento en la medición del agua de manera constante), el consumo de agua por persona será menor que si no fuera bien manejado, esto es que los gerentes o presidentes de las juntas municipales sepan y reparen las fugas de agua del troncal de inmediato. El aumento de los estándares de vida incrementa el uso de agua por persona. En los países altamente desarrollados gastan mucho más agua que las naciones menos desarrolladas, un estatus socioeconómico más alto implica el mayor uso del agua por persona.

#### 4.2.2.5 Costo económico del abastecimiento

De acuerdo a lo dispuesto por la Ley del Agua del Estado de Chihuahua el Organismo operador (JCAS) prestará a los usuarios los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en los usos doméstico, industrial, comercial; servicio por el cual de acuerdo al volumen de agua consumida a través de un dispositivo de medición, se establecerá la cuota que se pagará. Los importes que de acuerdo al consumo correspondan, se presentan a continuación: <sup>30</sup>

##### a) Uso Doméstico

**Tabla 12.-** Precios de acuerdo al consumo de agua para uso domestico <sup>29</sup>

Consumo en m3	Agua	Alcantarillado	Saneamiento	Total	Precio M3 adicional
0 -10	\$ 60.48	\$ 16.47	\$ 24.20	\$ 101.15	
11 - 15	\$ 82.51	\$ 22.47	\$ 33.02	\$ 138.00	\$ 8.78
16 - 20	\$ 05.00	\$ 28.60	\$ 42.00	\$ 175.60	\$ 8.78
21 - 30	\$ 57.00	\$ 42.90	\$ 63.00	\$ 262.90	\$ 8.78
31 - 40	\$ 94.21	\$ 80.14	\$ 117.68	\$ 492.03	\$ 12.30
41 - 50	\$ 84.63	\$ 104.76	\$ 153.85	\$ 643.24	\$ 12.86
51 - 60	\$ 482.83	\$ 131.51	\$ 193.14	\$ 807.48	\$ 13.46
61 - 70	\$ 06.95	\$ 165.32	\$ 242.79	\$ 1,015.06	\$ 14.50
71 - 80	\$ 726.76	\$ 197.95	\$ 290.71	\$ 1,215.42	\$ 15.19
81 - 90	\$ 65.46	\$ 235.74	\$ 346.18	\$ 1,447.38	\$ 16.08
91 - 100	\$1,001.68	\$ 272.84	\$ 400.67	\$ 1,675.19	\$ 16.75
101 - 130	\$1,413.16	\$ 348.92	\$ 565.27	\$ 2,327.35	\$ 18.18
131 - 160	\$2,001.16	\$ 545.28	\$ 800.75	\$ 3,347.19	\$ 20.92
161 - 200	\$2,651.24	\$ 722.14	\$1,060.50	\$ 4,433.88	\$ 22.17
201- 300	\$4,363.35	\$1,188.49	\$1,745.34	\$ 7,297.18	\$ 24.32
301 - 400	\$6,171.31	\$1,680.95	\$2,468.52	\$10,320.78	\$ 25.80
401 - 500	\$8,064.54	\$2,196.63	\$3,225.81	\$13,486.98	\$ 26.97
501 – adelante /m3	\$ 23.12	\$ 6.3	\$ 9.25	\$38.67	



b) Uso Comercial

**Tabla 13.-** Precios de acuerdo al consumo de agua para uso Comercial <sup>29</sup>

Consumo en m3	Agua	Alcantarillado	Saneamiento	Total	Precio M3 adicional
0 - 20	\$ 115.50	\$ 16.47	\$ 24.20	\$ 101.15	
21 - 30	\$ 173.25	\$ 42.90	\$ 63.00	\$ 262.90	\$ 8.78
31 - 40	\$ 323.63	\$ 80.14	\$ 117.68	\$ 492.03	\$ 12.30
41 - 50	\$ 423.09	\$ 104.76	\$ 153.85	\$ 643.24	\$ 12.86
51 - 70	\$ 667.65	\$ 165.32	\$ 242.79	\$ 1,015.06	\$ 14.50
71 - 100	\$ 1,101.85	\$ 197.95	\$ 290.71	\$ 1,215.42	\$ 15.19
101 - 200	\$ 2,916.36	\$ 348.92	\$ 565.27	\$ 2,327.35	\$ 18.18
201 - 500	\$ 8,485.55	\$2,196.63	\$3,225.81	\$13,486.98	\$ 26.97
501 – adelante /m3	\$ 25.43	\$ 6.93	\$ 10.17	\$42.53	

c) Industrial

**Tabla 14.-** Precios de acuerdo al consumo de agua para uso Industrial <sup>29</sup>

Consumo en m3	Agua	Alcantarillado	Saneamiento	Total	Precio M3 adicional
0 - 30	\$ 189.00	51.48	75.60	\$ 316.08	10.54
31 - 50	\$ 461.55	125.72	184.62	\$ 771.89	15.44
51 - 70	\$ 728.34	198.39	291.34	\$ 1,218.07	17.40
71 - 100	\$ 1,202.01	327.41	480.81	\$ 2,010.23	20.10
101 - 200	\$ 3,181.49	866.58	1,272.59	\$ 5,320.66	26.60
201 - 500	\$ 9,677.44	2,635.95	3,870.98	\$16,184.37	32.37
501 – adelante /m3	\$ 28.75	\$ 7.83	\$ 11.50	\$48.08	

Cuando el volumen de agua consumida se determine en forma estimativa, el cálculo del consumo se da en base al rango o categoría que corresponda como se señala a continuación:

**Tabla 15.-** Precio estimativo de acuerdo al tipo de servicio <sup>29</sup>

Tipo de servicio	Agua	Alcantarillado	Saneamiento	Total
Municipal	\$ 253.09	58.21	101.23	\$ 412.53
Comercial	278.39	64.03	111.36	\$ 453.78
Industrial	455.56	104.78	182.23	\$742.57
Escolar	253.09	58.21	101.23	\$412.53
Servicio Público	253.09	58.21	101.23	\$412.53

De acuerdo a informes presentados por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento, la ciudad de Chihuahua es el municipio con mayor consumo per cápita en todo el país (380 litros por habitante),

---

en contraste con un costo muy bajo por cada metro cúbico al cobrar \$8.78 (ocho pesos con setenta y ocho centavos), en comparación con otras ciudades del país con un nivel mayor de recursos hídricos como lo son Tijuana y Morelia, en las cuales se cobra \$17.34 pesos y \$18.26 pesos por metro cúbico; a pesar del alto costo en Chihuahua de las obras para abastecer de agua a la ciudad, en donde en comparación abastecerla cuesta hasta 20 veces más que en otras ciudades del país, debido a que para entubar el vital líquido desde fuentes de abastecimiento, se requiere de habilitar sistemas de más de 70 kilómetros distancia que atravesaría toda la ciudad. El alto consumo y los bajos costos podrían condenar al desabasto total del vital líquido en menos de 50 años, por lo que se requiere generar la cultura del cuidado y pago del servicio.

**Tabla 16.-** Municipio - Precio por metro cúbico (pesos) <sup>31</sup>

Chihuahua	8.78	Ensenada	13.75
San Luis Potosí	9.03	León	15.47
Torreón	11.52	Tijuana	17.34
La Paz	12.09	Morelia	18.26
Juárez	13.34	Aguascalientes	19.71

Con respecto al Agua residual tratada, la facturación mínima mensual es de 10 metros cúbicos a un precio de \$4.40 por metro cúbico, sin importar el volumen consumido por el usuario, aplicable para cuentas domésticas, comerciales, industriales, escuelas públicas, privadas y sector público. El usuario deberá realizar por su cuenta las instalaciones correspondientes para el suministro de agua residual tratada, o en su caso a través de los programas de apoyo que pudiera implementar el organismo previo estudio del área técnica del mismo.

---

### **4.3 Tratamientos de agua**

#### **4.3.1 Agua potable**

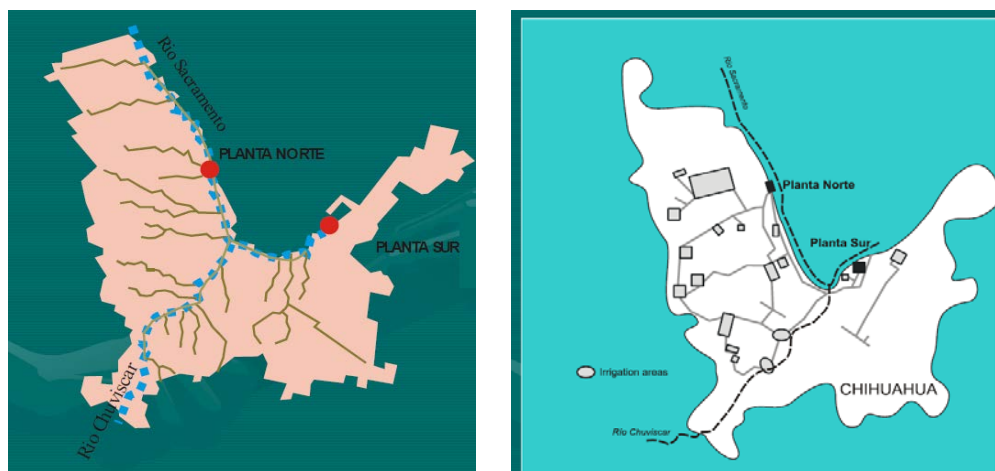
La ciudad de Chihuahua es abastecida de agua potable a través de la red hidráulica, con agua proveniente de 148 pozos y de agua cruda que proviene de la presa Chihuahua esta última, después de pasar por la planta potabilizadora Norte. Las condiciones del agua que entra en la red (4,162 litros por segundo) están continuamente monitoreadas de acuerdo a la Nom-127-ssa-1-1994., por personal especialista de la JMAS Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua. (JMAS 2014). La planta Potabilizadora abastece a la red hidráulica hasta con 60 litros por segundo. El procedimiento que realiza la planta para enviar agua potable a la red consiste en: examinarla, determinar la cantidad de químico necesario para limpiarla, conducirla a los tanques sedimentadores, después clarificarla mediante filtros de arena cíclica que pulen el agua y posteriormente aplicar la cloración. Al agua proveniente de los pozos solo se le aplica un proceso de cloración (.2 a 1.5 partes por millón de cloro libre residual), mediante (69) equipos que utilizan una bomba y un diafragma para crear un vacío conectado a un tanque con gas cloro, supervisado continuamente para garantizar la buena calidad del agua.

---

#### 4.3.2 Agua residual

La mayor parte del agua usada en una comunidad termina en el drenaje, es necesaria la disposición segura de todos los desechos humanos para proteger la salud de los individuos, la familia y la comunidad, y también para prevenir la ocurrencia de ciertas epidemias.

Los sistemas de drenaje se clasifican en tres categorías: Sanitario, Pluvial y Combinado. Chihuahua cuenta con una red de alcantarillado sanitario combinado que se extiende por más de 3,200 kilómetros, en el cual en temporada de lluvias se incrementa considerablemente la obstrucción de la red de alcantarillado porque se descarga drenaje pluvial al sanitario y eso ocasiona fallas en el sistema.<sup>32</sup> -Un 80% del agua residual proviene de casas habitación; 20% de la industria y comercio.<sup>33</sup>



*Ilustración 19.- Plantas de Tratamiento de Agua Sur y Norte en la ciudad de Chihuahua*<sup>34</sup>

En la ciudad de Chihuahua, con relación al tratamiento de aguas residuales, se cuenta con dos plantas de tratamiento: la Planta Norte, con una capacidad total nominal instalada de 1200 litros por segundo y la Planta Sur con capacidad instalada de 2500 litros por segundo.<sup>11</sup> Las plantas tratadoras trabajan mediante diferentes procesos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua ya usada para darle un nuevo uso como abono o fertilizante.

La Planta Norte, se encuentra en funcionamiento desde 1995, abarca una tercera parte del total de descargas de la ciudad, produce diariamente 35,000 m<sup>3</sup>, (40,000m<sup>3</sup>) de los cuales el 40 % se emplea en el riego de jardines y algunos procesos industriales.

La Planta Sur, inaugurada en 2005, tiene un procesamiento actual aproximado de 1750 litros por segundo, (150,000 m<sup>3</sup> diarios) empleada para el riego agrícola.

---

El excedente de ambas tratadoras es vertido en el río Sacramento, de acuerdo a los lineamientos federales y locales para descarga en ese cuerpo receptor (JCAS, 1998).



*Ilustración 20.- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Chihuahua Norte y Sur*<sup>32</sup>

A través de la capacidad instalada de saneamiento en la ciudad, se cuenta con los medios para dar tratamiento a gran porcentaje de las aguas residuales domésticas descargadas del sistema de alcantarillado sanitario, se recupera el 95% de agua, sin embargo la capacidad de las Plantas Norte y Sur se encuentra próxima a alcanzar su límite en los años venideros.

El sistema de distribución de agua tratada cuenta con 150 Km de tubería para conducción, 5 estaciones de bombeo, con un caudal de transporte de 300 litros por segundo, el cual se aplica en el riego de jardines, en instituciones educativas, campos deportivos e industria cubriendo un área de riego 1200 hectáreas.

El subsistema de manejo de agua residual está compuesto de seis partes. 1. La fuente de agua residual; 2. El proceso en el sitio; 3. Captación del agua residual; 4. Transmisión y bombeo; 5. Tratamiento; 6. Disposición o reúso. El agua pluvial por su parte se ve desaprovechada en un alto porcentaje, ya sea escurriendo fuera de la ciudad, evaporándose, etc.

#### **4.3.3 Reutilización**

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la ciudad de Chihuahua como parte de las acciones sustentables implementadas lleva a cabo la reutilización de agua tratada para regar parques y jardines, dotando con 854 millones de litros mensual de agua tratada para este fin, lo que representa el ahorro de agua purificada en esta misma cantidad. Se han desincorporado 387 parques y áreas verdes de 273 colonias o fraccionamientos de la ciudad de la red, de noviembre de 2013 a de julio de 2014 equivalentes a un área de 833 mil 28 metros cuadrados y se entregaron 4 millones de litros de agua tratada a los vecinos y encargados de parques para su riego.

Infraestructura: 150 Km de tubería para conducción • 5 estaciones de bombeo 5 estaciones de bombeo • Caudal transportado: 300 lps • Aplicación: riego de jardines, instituciones educativas, campos deportivos e industria • Área de riego: 1200 Has.

---

## **CAPITULO 5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

La escasez de agua y la creciente demanda de esta, son un problema global que se acentúa principalmente en las grandes conglomeraciones urbanas, de ahí la necesidad de buscar alternativas que permitan lograr el abasto del vital líquido.

Hoy en día la falta de información y el poco compromiso que se tiene con el medio ambiente, no permite visualizar el grado de devastación en el que actualmente se encuentran muchos de los recursos naturales con los que se abastece el lugar donde habitamos para nuestra supervivencia; las redes subterráneas e invisibles que proveen el agua de los pozos cada vez más lejanos afectan el nivel de agua de los acuíferos; en la ciudad de Chihuahua la gravedad del problema de abasto de agua solo es percibido por sus habitantes solo cuando este se refleja a través de la escasez del suministro.

Las zonas impermeables de las áreas urbanas (asfalto) disminuyen la capacidad de almacenamiento e infiltración del agua de lluvia al subsuelo o mantos freáticos, no se puede seguir ignorando la problemática de la progresiva disminución de los niveles de agua dulce de los acuíferos con que actualmente se abastece a la ciudad, es un gran reto lograr la conciencia de la importancia del cuidado del agua, tanto la sociedad como las autoridades deben identificar y llevar a la práctica diferentes métodos que contribuyan a un uso sostenible de este vital líquido.

La captación del agua de lluvia es una alternativa para mitigar el problema de abasto de agua, principalmente en aquellas ciudades en donde se busca contribuir en la medida de lo posible a alcanzar el desarrollo sustentable en relación al consumo del agua.

De acuerdo con la sostenibilidad, los consumidores de agua deben ser sensibilizados en temas de agua, generándoles el interés de saber de dónde proviene el agua, como se trata para poder ser consumida por el hombre, como se lleva a cabo su distribución, a de más de cuál es el uso final que se da al agua.

### **5.1 Principales sistemas de captación de agua de lluvia**

#### **5.1.1 Definición de captación de agua de lluvia**

“La captación de agua de lluvia es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas y edificios, techumbres de almacenes y de tiendas, explanadas, etc.”<sup>35</sup>

Se ha probado que la captación del el agua lluvia fomenta la conservación de energía al evitar su uso en la operación de sistemas de bombeo y de transporte de agua. Al ser captada y almacenada, se

---

reduce la erosión y se previenen las inundaciones provocadas por el exceso de escorrentía y flujo de aguas que corre sobre las áreas impermeables, como techos y pavimentos.<sup>36</sup>

La captación del agua de lluvia ha sido utilizada desde la antigüedad, las prácticas ancestrales de uso del agua lluvia a lo largo de la historia de la humanidad han denotado el conocimiento del medio ambiente, periodicidad y volúmenes de precipitación en épocas de lluvia y evaporación además de la demanda que tiene el agua en sus centros urbanos, los siguientes son ejemplos de ello:

- Los Romanos durante la República Romana (siglos III y IV a.C.) contaban en su mayoría, con viviendas unifamiliares denominadas “la Domus” en donde tenían un espacio a cielo abierto (“atrio”) y en él se instalaba un estanque central para recoger el agua lluvia.
- En China en la provincia de Gansu, desde hace más de 2.000 años, existían pozos y jarras para la captación de agua lluvia.
- En Centroamérica los reyes Mayas sostenían a sus pueblos de modos prácticos, ocupándose de la construcción de obras públicas.
- En México en el estado de Yucatán, al sur de la ciudad Oxkutzcab en el siglo X a.C. el abastecimiento de agua para la población y el riego de los cultivos se hacía a través una tecnología para el aprovechamiento de agua lluvia, el agua era recogida en un área de 100 a 200 m<sup>2</sup> y almacenada en cisternas llamadas “Chultuns”, estas cisternas tenían un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso.<sup>37</sup>

En la actualidad en el continente Asiático, en La India, para enfrentar el problemas de suministrar el vital liquido a 1,000 millones de personas, se utilizan técnicas de aprovechamiento de agua lluvia durante el monzón, que es un diluvio breve, donde se presentan aproximadamente 100 horas de lluvia por año, durante las cuales se debe captar y almacenar el agua para todo el resto del año.

En Bangladesh, la recolección de agua lluvia se ve como una alternativa viable para el suministro de agua segura en áreas afectadas por contaminación con arsénico. Desde 1977, cerca de 1.000 sistemas de aprovechamiento de agua lluvia fueron instalados en el país por la ONG (Forum for Drinking Water Supply & Sanitation).

En China, en una de las áreas más pobres al noroeste del País, el escurrimiento y el agua superficial son muy escasos. Para promover el desarrollo social, económico y mejorar la calidad de vida, es necesario mejorar las condiciones de abastecimiento de agua. La única fuente de agua potencial en esta área es la lluvia, por lo que desde 1988, se han probado eficientes técnicas de captación de agua lluvia y de 1995 a 1996, el gobierno local ha implementado el proyecto llamado “121” para captación de agua lluvia, apoyando económicamente a cada familia para construir un campo de recolección de agua, dos almacenamiento y un terreno adecuado para cultivar. Suministrando agua a 1.2 millones de personas (260,000 familias) y 1.18 millones de cabezas de ganado.

En Tokio el aprovechamiento de agua lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua, controlar las inundaciones y asegurar agua para los estados de emergencia. Está instalación recibe el agua lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo, para extraer el agua

---

se utiliza una bomba manual, el agua colectada es utilizada para el riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, combatir incendios y como agua de consumo en situaciones de emergencia.

Dentro del continente Europeo en Berlín, Alemania, en octubre de 1998, se introdujeron los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para controlar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor micro clima.

En América, dentro de los Estados Unidos, Texas es el estado en donde más se utilizan los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Una casa típica en Texas tiene un área de 200 m<sup>2</sup> de cubierta y puede producir más de 150.000 litros de agua al año con una precipitación anual media de 850 mm. En México, en 1996 en el Estado de Guanajuato, se desarrolló un proyecto denominado “Agua y Vida” que comenzó con almacenamientos de agua, ya que en esta población se dan periodos sin lluvia que superan los dos meses, el primer desarrollo tecnológico fue un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que cuenta con una cisterna con capacidad de almacenamiento de 500.000 litros y un área de captación cubierta de piedra laja. La siguiente obra fue construida a las afueras del municipio y se llamo “Techo – Cuenca” y consta de dos cubiertas con pendiente que se unen en una canal la cual está conectada a una tubería que conduce el agua a un deposito con capacidad para almacenar 285.000 litros de agua ubicado dentro del municipio, que se ha denominado “Casa del Agua y Vida”

Para México actualmente la captación del agua de lluvia es una actividad muy poco utilizada, que debiera considerarse como estrategia encaminada a satisfacer las necesidades de la población del vital liquido, para poder lograr la sostenibilidad urbana, a través de programas educativos que concienticen a los diferentes sectores de la población generando un cambio cultural y a través de regulaciones urbanas que incentive este tipo de prácticas, dado que no es común que se lleven a cabo y cuando se hace es de manera poco tecnificada.<sup>(26)</sup>

Una prueba piloto de captación de agua de lluvia urbana y rural en México es el proyecto “Lluviatl”, diseñado por el Colegio de Posgraduados (COLPOS), el cual ha demostrado aportar beneficios sociales a comunidades aisladas en el Estado de México y ahorro de agua entubada con el consumo masivo de agua lluvia purificada en el campo universitario. Con este proyecto se capta la lluvia, se filtra y se produce y se distribuye el agua de lluvia embotellada.<sup>38</sup>

Los proyectos piloto COLPOS están demostrando que es posible purificar el agua de lluvia y cubrir los estándares del agua potable establecidos por la Organización Mundial de Salud. La Cámara de Diputados en México emitió un exhorto en diciembre de 2004 para que la sociedad aproveche el agua de lluvia

En la siguiente figura se esquematiza el sistema COLPOS I mostrando como una familia de 4 personas se puede abastecer con agua potable y purificada con un consumo per cápita de 100 litros diarios durante el periodo de sequía. El área de captación es 120 m<sup>2</sup>, estimando una precipitación



pluvial anual de 610 mm y un tamaño del tanque de almacenaje de 73 m<sup>3</sup>. El costo del sistema es de unos \$35.000 pesos mexicanos. Cuyos componentes son:

- Captación
- Sistema de conducción
- Almacén con disposición de agua
- Sistema de disposición de agua (tinaco)
- Sistema para reutilización de aguas jabonosas



*Ilustración 21.- Esquema del COLPOS <sup>36</sup>*

El aprovechamiento del agua lluvia en función de las tecnologías actuales, va acorde con los lineamientos del desarrollo sostenible, dado que contribuye al uso racional del agua y los recursos. Los sistemas de captación y tratamiento de agua pluvial se pueden diseñar como sistemas enfocados a satisfacer uno o varios usos durante un cierto tiempo, pero el sistema pudiera diseñarse también para satisfacer el 100% de la necesidad de agua en todo el año, cuando el espacio, los recursos y la cantidad de lluvia en una zona lo permitan. Los usos del agua de lluvia en la actualidad son:

- Domésticos y productivos
- Sanitarios y de higiene
- Protección de cuencas
- Soberanía alimentaria
- Conservación de suelos
- Recarga de acuíferos
- Preservación de ecosistemas estratégicos
- Prevención de desastres y estrategias de reconstrucción después de los desastres
- Usos simbólicos, lúdicos y sagrados

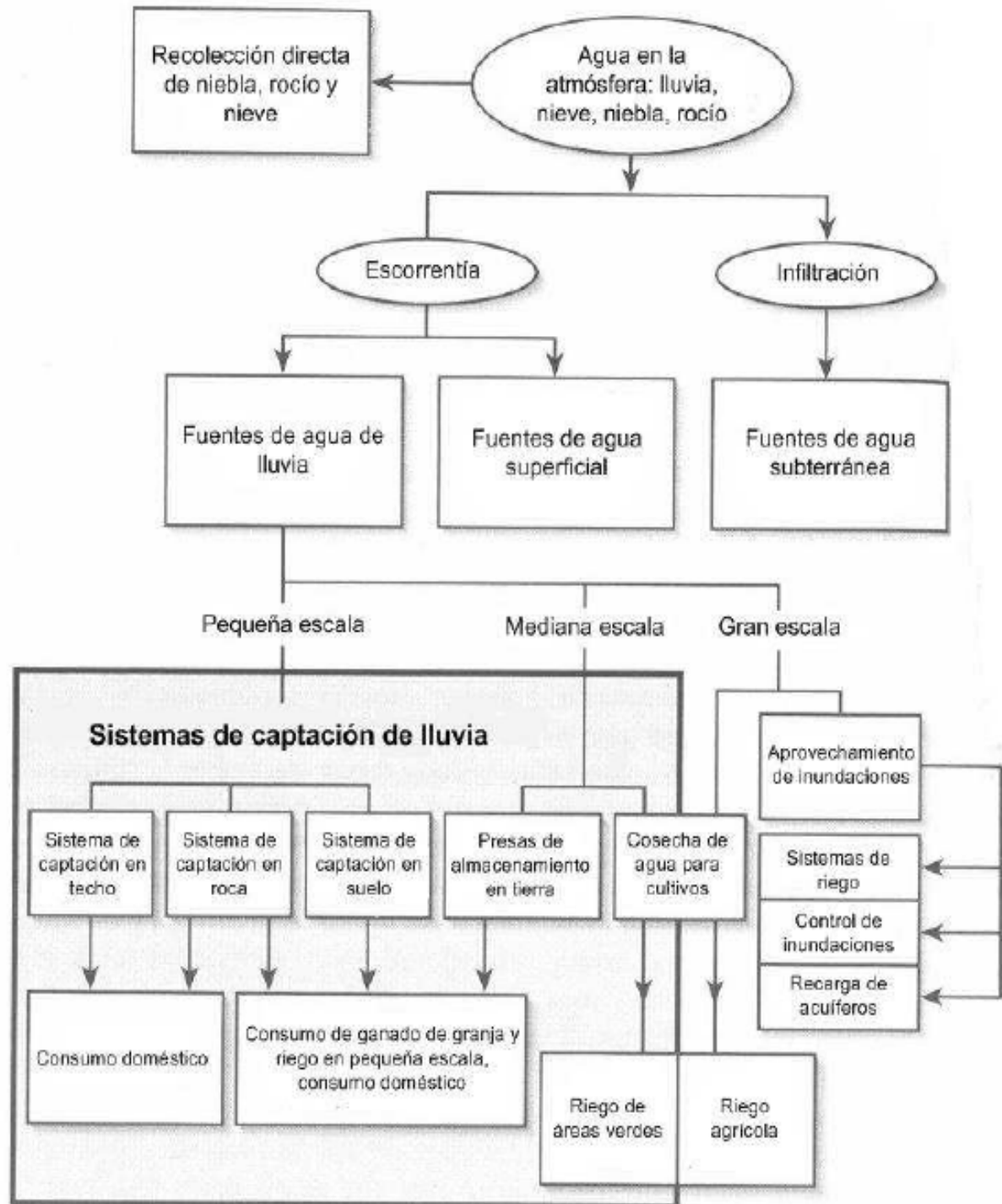
Dependiendo del número de actividades que elijamos, en los que se usará el agua de lluvia captada (limpieza corporal, de la casa, de la ropa, del excusado, para riego y para consumo humano, beber y cocinar, o todos ellos) el sistema será más complejo o más sencillo y la inversión variará considerablemente

### 5.1.2 Clasificación de los sistemas de captación de agua de lluvia

**Tabla 17.-** Clasificación de los sistemas de captación de lluvia por diferentes rubros Fuente: Modificación a la clasificación de FAO del 2000. <sup>39</sup>

Clasificación	Ejemplos
Por Fuente	Precipitación Niebla Nieve
Por Esgurrimiento	En Terrazas y patios En Techos En tierra y campo En roca
Por área o extensión	Grandes extensiones (comunal) Extensiones medianas Extensiones pequeñas (micro captación)
Por almacenamiento	Cisterna (cemento, plástico, etc.) Tanque (plástico, metálico, etc.) Suelo (roca, suelo impermeabilizado, etc.)
Por uso o aprovechamiento	Animales Humano Agricultura o riego

Esquema de clasificación de los sistemas de captación de lluvia por diferentes rubros.



*Ilustración 22.- Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia (Gould y Nissen-Petersen, 1999).*<sup>40</sup>

---

### Sistema típico de captación de agua de lluvia en techos



**Ilustración 23.-** Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.<sup>41</sup>

#### Componentes del sistema

Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes:

- a. Captación
- b. Recolección
- c. Interceptor de primeras aguas
- d. Almacenamiento

Inicialmente el diseño propuesto tendría, además de los componentes mencionados, los siguientes:

- e. Sistema de filtración rápida
- f. Red de distribución de agua lluvia (sistema de bombeo).<sup>30</sup>

La captación está conformada por los techos, los cuales deben de contar con pendientes y superficies adecuadas que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia la recolección, entre los materiales utilizados se encuentran las tejas de zinc, eternit y arcilla.

La recolección y conducción está conformada por canales que van aproximados en los bordes bajo el techo, donde el agua se acumula evitando que caiga al suelo, el material para las canales debe ser liviano y garantizar la higiene en el agua.

---

El interceptor o dispositivo de descarga captar las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que se encuentran al inicio de la lluvia, este impide que el material indeseable y que pueda afectar la calidad del agua ingrese al tanque de almacenamiento.<sup>42</sup>

La zona de almacenamiento es la obra destinada a almacenar el volumen de agua necesaria para el consumo diario en tanques, pozos etc. debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobre-presiones
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje

## **5.2 La utilización del agua de lluvia en el marco de la sostenibilidad**

La disponibilidad del recurso hídrico está asociada a diferentes problemáticas ambientales tales como la deforestación, el cambio en los usos del suelo, incremento en la demanda de agua, cambio climático, etc.

El agua de lluvia genera contribuciones al consumo sostenible; mediante la planificación y la gestión del agua lluvia se pueden reducir riesgos, prevenir daños a la salud y mitigar desastres<sup>27</sup>

El manejo del agua lluvia se convierte en un elemento potencial de adaptación para evitar tragedias que afectan a la población más vulnerable durante las sequías e inundaciones debido a precipitaciones pluviales inusitadas.

A través de la captación de agua de lluvia se contribuye a reducir la escasez del agua y problemas del ciclo hidrológico en áreas urbanas, a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios y estimular el uso sostenible de la biodiversidad y los ecosistemas, lo que a su vez contribuiría a mejorar la competitividad empresarial y la calidad de vida.

A través del uso del agua de lluvia se puede reducir la presión sobre las redes de agua potable y alcantarillado existentes.

### Ventajas:

El agua de lluvia captada y almacenada, es la más limpia ya que es destilada por el sol y las nubes.

### Desventajas

---

Para almacenar el agua se necesitan recipiente con capacidad para guardarla para los meses secos. Estos tienen un costo considerable y requiere un cuidado especial y permanente es decir, limpieza y evitar la entrada de luz y aire.

Se necesita mucha superficie impermeable, así como espacio debajo de ellas, para ubicar las cisternas y llenarlas por gravedad, si es que se desea aprovechar un alto porcentaje del agua de lluvia.

---

## **CAPITULO 6. AUTOSUFICIENCIA HÍDRICA. ESTUDIO DE CASO DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA (MÉXICO)**

### **6.1 Introducción**

De acuerdo al informe elaborado por la Secretaria del IPCC, en Ginebra(2008), sobre “El Cambio Climático y el Agua” y según el registro de las observaciones y las proyecciones climáticas, la situación actual en el planeta, muestra la vulnerabilidad de los recursos de agua dulce, poniendo de manifiesto que pueden llegar a verse gravemente afectados por el cambio climático.

En este ámbito y como resultado de la situación de déficit hídrico que amenaza a la ciudad de Chihuahua, el abastecimiento y el saneamiento del agua dentro del ciclo hidrológico, se plantean como un reto para la sociedad, misma que ya ha adoptado un compromiso y objetivos de sostenibilidad. A nivel internacional los recursos hídricos son identificados como recursos escasos y de un amplio valor cualitativo y cuantitativo, por lo que ante esta situación, evidentemente crítica y no sostenible, que exige esfuerzos de todos los sectores, y no únicamente de las dependencias gubernamentales es que deben realizarse todos los esfuerzos necesarios de forma conjunta para evitar el incremento de su deterioro y en consecuencia, una disminución de la calidad de vida.

En las áreas urbanas, la reducción de la dependencia hídrica actual, mediante un enfoque de eficiencia e innovación de sistemas de aprovechamiento de este recurso favorecerá que el uso y consumo de este vital liquido se de de forma más equitativa y ayudará a la prevención de su escasez.

Dado que la ciudad de Chihuahua, es la segunda zona urbana más poblada del Estado del mismo nombre; esta región también se ve afectada en la disponibilidad del agua, por el propio crecimiento poblacional que trae consigo un incremento en la demanda, por picos estacionales de demanda provocados por las condiciones climáticas con temperaturas por encima de los 30° C durante los meses de junio a agosto, el cambio del ciclo hidrológico y los últimos episodios de sequia que se han presentado dentro del territorio; todo esto hace evidente la apremiante necesidad de buscar nuevas alternativas en temas de gestión hídrica, en esta grande urbe.

### **6.2 Antecedentes del aprovechamiento de aguas pluviales en sistemas urbanos.**

Hasta el momento a nivel internacional, la comunidad científica, ha concentrado sus esfuerzos en el tratamiento de aguas residuales, dejando de lado, con muy pocos estudios, lo que al análisis de la calidad del agua de lluvia se refiere. No obstante, existen proyectos piloto de captación pluvial, aplicados en algunas ciudades que han permitido poner a prueba diferentes técnicas de recolección de agua de lluvia y que han permitido evaluar la calidad del agua de acuerdo al lugar por donde da su escurrimiento.

---

## **Beneficios ambientales, sociales y económicos de la recogida y utilización de aguas pluviales en zonas urbanas**

En razón de que el agua dulce es un recurso escaso en todo el globo terráqueo, como uno de los beneficios primordiales del uso de agua de lluvia, para el medio ambiente, se encuentra el mayor control sobre el ciclo hidrológico del agua a nivel regional y local, lo que trae consigo la prevención tanto de sequías como inundaciones y la disminución de la erosión de la tierra por la extracción de agua del subsuelo; en el ámbito económico genera un considerable ahorro en el costo de infraestructuras de extracción, transporte, tratamiento y almacenaje del agua, aunado al ahorro de agua potable y a la posibilidad de que pueda lograrse el autoabastecimiento. No menos importante es el aspecto social, ya que el agua, en diversas ocasiones se ha convertido en la causa principal de numerosos enfrentamientos, enfrascados en la lucha por obtener el poder sobre el vital líquido. Con la implementación de un nuevo enfoque en la gestión del agua y una educación de la sociedad Chihuahuense orientada a la sostenibilidad y a una nueva cultura participativa y responsable del agua este tipo de problemas sociales se puede ver disminuido.

### **Experiencias previas en el aprovechamiento de aguas pluviales en la ciudad de Chihuahua.**

Las practicas en relación a los sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia en la ciudad de Chihuahua son nulas, debido a la falta de sensibilización y conciencia del ahorro por parte de la ciudadanía y a la falta de planeación urbana para el desarrollo de proyectos y obras de infraestructura, ya que del agua que se precipita sobre el territorio, sólo el 3.36% se retiene en las presas aproximadamente y un 8% se infiltra y llega al acuífero, perdiendo la oportunidad de aprovechar el resto en diversos usos urbanos y ecológicos.

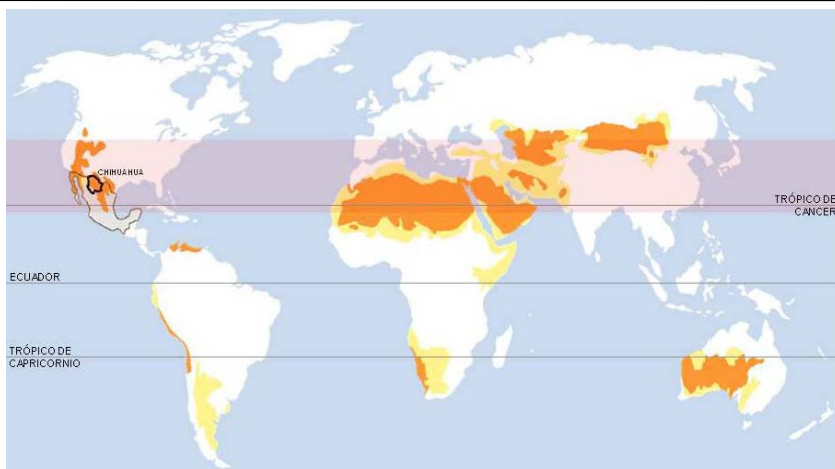
### **6.3 Ámbito de estudio del aprovechamiento de agua de lluvia.**

El Municipio de Chihuahua se encuentra ubicado en el centro del estado del mismo nombre, en la parte norte de la Republica Mexicana (ver figura 1), en una posición geográfica entre los paralelos 28° 05' y 29° 48' de latitud norte y los meridianos 105° 41' y 106° 38' de longitud oeste, en la latitud de los grandes desiertos del planeta (ver figura 2); a una altitud 1,440 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 9,219 km<sup>2</sup> que representa el 3.4% de la extensión territorial total del estado; cuya población registrada a 2010 corresponde a 819,543 habitantes; el municipio de Chihuahua cuenta con un clima seco templado, seco semicálido y semiseco templado.



**Ilustración 24.-** Mapa regional y local de la situación geográfica de la ciudad de Chihuahua dentro del municipio de Chihuahua. (Fuente: Datos del mapa 2015 Google, INEGI)





**Ilustración 4:** Chihuahua en la franja de los grandes desiertos del mundo (Fuente: Gobierno Del Estado De Chihuahua 2011, Programa Sectorial 2011-2016, El Agua De Chihuahua)

### 6.3.1 Descripción del sistema objeto de estudio

El ámbito de estudio corresponde a la zona urbana de ciudad de Chihuahua, localizada en el centro sur del municipio de Chihuahua, a la cual le corresponde una superficie de 259.53 Km<sup>2</sup>, con una población registrada a 2010 de 809,232 habitantes, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la que de acuerdo a la densidad habitacional, que va del orden de 3.8 habitantes por vivienda, cuenta con 212,995 viviendas, de las cuales el 17.6% tienen techos no sólidos, por lo que solo 174,476 viviendas conformaran nuestra área de interés, (datos calculados en base a la información obtenida de la Evaluación de vivienda, elaborada por el IMPLAN 2006).

### 6.3.2 Problemática de la gestión del ciclo hídrico en Chihuahua

La escasez de agua debido al cambio del ciclo hidrológico y la creciente demanda de ésta en la ciudad de Chihuahua, son un problema que se acentúa debido a la falta de información y el poco compromiso que se tiene con el medio ambiente, impidiendo visualizar el grado de devastación en el que actualmente se encuentran muchas de las fuentes de recursos hídricos con las que se abastece la ciudad para nuestra supervivencia; las redes subterráneas e invisibles que proveen el agua de los pozos cada vez más lejanos afectan el nivel de agua de los acuíferos; aunado a que en la ciudad de Chihuahua la gravedad del problema de abasto de agua es percibido por sus habitantes solo cuando este se refleja a través de la escasez del suministro. Mediante la implementación de sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia, se podrán cubrir las necesidades en base a la demanda de agua, así como una mayor independencia de la red de agua potable y por consiguiente, se podría obtener una menor presión sobre la red y un incremento en el ahorro de agua potable, dado que la pluviometría media alcanza los 480 mm anuales.

### 6.3.3 Gestión hídrica en Chihuahua.

Actualmente el municipio de Chihuahua inicia su incursión en el campo de la gestión hídrica, puesto que aún no cuenta con un sistema separado de colecta de agua de lluvia, formando ésta parte del drenaje sanitario, ocasionando que en temporada de lluvias se incremente considerablemente la

---

obstrucción de la red de alcantarillado y el desperdicio ya que durante las lluvias torrenciales el agua va a parar al río Sacramento sin ningún aprovechamiento, para finalmente salir de la ciudad.

Por medio de este proyecto de estudio cuyo objetivo es proporcionar a la zona urbana de la ciudad de Chihuahua, una mejor gestión y control de sus recursos hídricos locales, además de propiciar paulatinamente una independencia parcial o total de la red de agua potable, que fortalecería el abasto del vital líquido, ayudando a prevenir la escasez de agua durante las temporadas de sequía en la región y adicionalmente facilitaría el proceso de desarrollo sustentable a escala municipal.

## **6.4 Metodología.**

El presente estudio se ha basado en la recolección de datos económicos, territoriales, ambientales y sectoriales, y en la interpretación de estos datos desde diferentes puntos de vista del sistema en conjunto, para poder dar soporte a diferentes estrategias de aprovechamiento del agua de lluvia en la ciudad de Chihuahua.

### **6.4.1 Estimación de la oferta: Determinación de la captación potencial de las aguas pluviales captadas.**

Se han identificado datos mediante información cartográfica digitalizada, arrojados por el sistema SIG con el software ARC VIEW, a través del Estudio de Vivienda Desarrollado por IMPLAN, determinando así la superficie potencial destinada para la captación del agua pluvial.

Dado que la eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento o escorrentía (RC) en relación a los materiales de los cuales está construido el área de captación, el cual varía de 0.0 a 0.95, y de acuerdo a las características de los materiales con que se construyen los techos en la ciudad de Chihuahua, superficies de concreto identificadas como aptas para desarrollar el proyecto, se ha considerado establecer, un coeficiente de escorrentía de 0.75, de acuerdo a la tabla de coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

### **6.4.2 Estimación de la calidad de las aguas pluviales.**

Resulta pertinente llevar a cabo una revisión del acervo bibliográfico previo en relación a la calidad de las aguas pluviales que se precipitan en la zona urbana de la ciudad. Al mismo tiempo se pretende cruzar estos resultados con datos del propio municipio de Chihuahua.

- **Evaluación de la calidad de las aguas pluviales en la ciudad a partir de datos bibliográficos.**

Consideramos válido aplicar un valor teórico a las diferentes cualidades que presenta el agua captada en función de las diferentes cubiertas por las que el agua transita. A partir de esta información que nos dan diferentes estudios que evalúan la calidad de las aguas pluviales después de su captación, se ha procedido al análisis y posterior calificación de las aguas de lluvia según un rango de valores del 1 (agua asimilable a potable) a 4 (agua de lluvia de baja calidad).

La determinación cualitativa del agua de lluvia en estos proyectos se ha llevado a cabo en función de diferentes variables: las características de la superficie de recolección, la deposición atmosférica seca, los componentes y poluentes que presenta el agua de lluvia, las diferentes impermeabilidades de los techos, la concentración de contaminantes y sustancias orgánicas.

- **Evaluación de la calidad de las aguas pluviales en la ciudad de Chihuahua a partir del análisis de los datos bibliográficos.**

De manera paralela, con la finalidad de obtener un valor sobre las diferentes cualidades que presenta el agua captada en la ciudad de Chihuahua en función de las cubiertas por las que circula, se ha procedido a la revisión de los datos proporcionados en relación con el agua de lluvia de la ciudad de Chihuahua o alguna otra ciudad de México debido a la poca o casi nula información al respecto.

Se ha previsto que en base a los datos encontrados se realice posteriormente el análisis que permita la obtención de valores físico-químicos y la posterior determinación de la calidad de estas aguas.

Estos resultados pueden interpretarse conjuntamente en relación al potencial de captación que presenta la ciudad para estimar la cantidad de agua que puede ser captada de los techos de las viviendas y sus potenciales usos, que puede ser destinada en función de la calidad que presenta, correlacionando así diferentes cualidades con usos que no dependan del agua potable.

#### **6.4.3 Estimación de la demanda: Determinación del potencial de la demanda hídrica.**

Por un lado se ha realizado el cálculo de la demanda potencial de la ciudad de Chihuahua bajo tres escenarios:

- 1) Escenario pesimista, en razón de la fuerte sequía presentada durante el año 2011 en la región, con una precipitación del orden de los 250 mm anuales.
- 2) El escenario de acuerdo a la precipitación media anual de alrededor de 480 mm.
- 3) Escenario optimista de acuerdo al volumen presentado en el 2004 de casi 750mm anuales.

**Tabla 18.-** Precipitaciones 2004-2014 (elaboración propia) <sup>18</sup>

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	mm ANUAL
2014	1.2	0.6	11	1.2	1.8	41.2	116.2	136.4	132.3	9.1	32.5	6.6	490.00
2013	18.5	1.9	1.1	0.5	7.6	52.1	204.9	99.1	103	33.9	45.9	49.6	618.10
2012	2.5	7.4	3.6	6.5	5.4	12.2	133.7	120.7	104.1	33.4	20.6	21.4	471.50
2011	2.9	0.3	0	0	1.1	11.6	101	76.4	23.9	9.2	22	12.1	260.50
2010	32.8	21.1	1.4	13	4.1	36.9	180.1	76.3	100.2	3.7	0.2	0.2	470.00
2009	8.2	0.7	9.9	0.1	33.1	69.6	106.1	95	57.2	66.5	12.1	10.4	468.90
2008	20.2	1.4	2.6	0.3	11.5	30.7	179.6	163.4	103.9	33.9	1.9	0.7	550.10
2007	58.4	0.2	3.4	0.5	11.8	47.3	117.2	120.5	75	14	15.6	32.6	496.50
2006	1.7	1.2	7.4	0.5	12.7	83.6	140.1	190	106.3	34.6	0	28.9	607.00
2005	47.1	50.7	5.2	0.3	35.3	11.7	108.8	107.9	41.5	42.9	2	9.1	462.50
2004	38.4	18.7	36.5	25.5	3.4	74.9	165.5	132.1	99.9	69.9	59	21.6	745.40
													Promedio mm
													482.56

Todos estos escenarios, bajo la base de que la captación de agua de lluvia se hará de los techos firmes de concreto de las viviendas de la ciudad de Chihuahua. En estos escenarios, los datos proceden del planeamiento urbanístico en combinación con los suministrados por la Junta Central de Agua y Saneamiento del estado de Chihuahua, así como el ayuntamiento de Chihuahua, quienes de acuerdo a sus informes indican que la demanda de agua es de 4,402 litros /segundo y la oferta es de 3,619 litros por segundo; por lo que se presenta un déficit de 783 litros/segundo.

**Tabla 19.-** Identificación de la superficie apropiada de techos para captación de agua pluvial (elaboración Propia)

Metros cuadrados construidos por vivienda					techos
m2 de construcción		No de viviendas 2010 de mi interes	viviendas en base a m2 de const	media de superficie construida	M2
0-100	47.60%	175,476	83,526	50	8,773,778.53
101-200	36.40%	175,476	63,873	150.5	26,409,073.36
201-300	12.20%	175,476	21,408	250.5	43,956,630.42
301-500	1.40%	175,476	2,457	400.5	70,277,966.00
500- o más	1.40%	175,476	2,457	500	87,737,785.26
S.D	1.00%	175,476	1,755		-10%
					<b>213,439,710.12</b>

#### 6.4.4 Determinación del potencial de la demanda hídrica.

La conjunción de los valores obtenidos de demanda y del potencial de captación que presenta la ciudad de Chihuahua en base a los tres escenarios, nos posibilita la estimación de un valor de autosuficiencia. Por lo tanto el cálculo a realizar dependerá de los valores obtenidos del volumen de captación y el consumo de agua. Este potencial es un indicador que define la capacidad de la zona según sus características para autoabastecerse mediante recursos endógenos locales.

### 6.5 Resultados y Conclusión.

#### 6.5.1 Análisis de la oferta endógena local de agua: potencial captación de pluviales en la ciudad de Chihuahua.

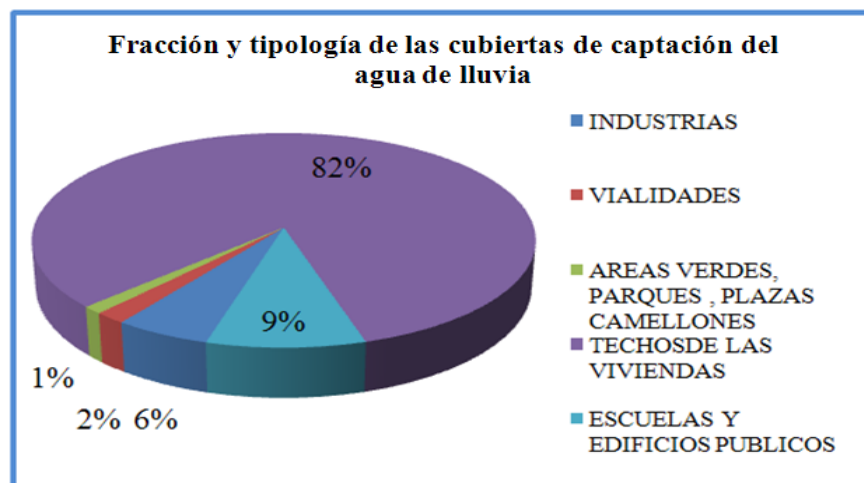
- **Superficies potenciales de captación.**

Se observa que las superficies de mayor extensión con un porcentaje del 82% corresponden al grupo de superficies de techos de viviendas 213.43 km<sup>2</sup>, asimilable a agua de lluvia de alta calidad (ver figura 3). Este resultado nos indica que la mayor parte de estos recursos de lluvia serán utilizados de forma directa para el consumo habitacional. Por lo tanto, este volumen pluvial será captado para satisfacer la sobredemanda de las viviendas que se presenta en la actualidad y parte de la demanda que es satisfecha mediante la red de agua potable con que actualmente cuenta la ciudad.

La superficie para captación de agua de lluvia correspondiente a vialidades tiene una extensión de 4.65 km<sup>2</sup>, y representa el 2% del total. Estas cubiertas constituyen unos de los sistemas más transitados donde la calidad del agua posiblemente se verá disminuida por la presencia de

hidrocarburos, partículas en suspensión y metales pesados principalmente, en contraste con la procedente de otras cubiertas como las de los techos de las viviendas. El total de las superficies de áreas verdes es de 2.99 km<sup>2</sup> de cubiertas, correspondiente al 1%, para la recogida de agua pluvial.

#### **Porcentaje de superficie de cada una de las diferentes tipologías de cubiertas de captación de agua de lluvia**



**Ilustración 25.-** Fracción sobre el total de las diferentes tipologías de cubiertas de captación de aguas pluviales para la ciudad de Chihuahua. (Fuente: Propia)

#### **Coefficientes de escorrentía**

- **Coefficientes de escorrentía.**

El grado de permeabilización que tienen las viviendas y todo aquello susceptible capaz de captar agua, depende de las tipologías de cada una de las superficies, del grado de impermeabilización. Y de la inclinación de estas. Es por ello que las superficies como los techos de las viviendas construidas en la ciudad de Chihuahua a base de concreto presentan un coeficiente de 0.75 aproximadamente, donde se pueden recoger tres cuartas (3/4) partes del agua procedente de la escorrentía.

Coefficientes dependen de las tipologías de cada una de las superficies, del grado de permeabilización y de la inclinación de éstas. Por este motivo las superficies pavimentadas de tierra y las superficies edificadas presentan un coeficiente próximo a 1, donde casi se puede recoger toda el agua procedente de la escorrentía. Por el contrario, a las cubiertas verdes se ha otorgado un coeficiente de 0, pues el agua incidente se infiltra a través de la superficie proporcionando una escorrentía resultante mínima, la captación de la cual se considera despreciable.

#### **6.5.2 Evaluación cualitativa de las aguas pluviales captadas en la ciudad objeto de estudio.**

- **Determinación de la calidad del agua de lluvia a partir de datos bibliográficos.**

Existe una superficie de cubiertas que se prevé recoja agua de lluvia de alta calidad y que representa una vasta extensión con un área de captación (82.3%). Se trata de agua de lluvia procedente de

superficies correspondientes a los techos sólidos de las viviendas edificadas a base de concreto y que presenta muy poco tránsito y contaminación.

Al tratarse de un recurso básicamente destinado a uso habitacional, este resultado deberá ser apoyado con incentivos por parte de la administración pública y municipal, y mediante campañas de difusión que logren involucrar al máximo de la población beneficiada en gran medida con el proyecto.

- **Determinación de la calidad del agua de lluvia a partir de una prueba piloto.**

Se ha revisado información bibliográfica de manera exhaustiva y no fue posible encontrar datos que nos permita determinar los principales parámetros indicadores de calidad del agua recolectada (pH, conductividad, nitratos, sulfatos y cloruros) en los techos de las viviendas planteado en el presente estudio, sin embargo, se tomo como referencia una prueba piloto de captación y análisis realizada en la ciudad de Camargo localizada a 130 km de la ciudad de Chihuahua, las cuales presentan características similares, dando como resultado que dichos parámetros presentan valores dentro de los límites permisibles y en general un agua de buena calidad principalmente indicada por la mayoría de usos urbanos, como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 20:** Valores obtenidos del análisis cualitativo del agua con y sin tratamiento en comparación con el marco legal (Fuente: Castro et.al 2002)

<i>Parámetro</i>	<i>Agua de Entrada</i>	<i>Agua Tratada</i>	<i>Norma (NMP)*</i>
pH	7.66	6.12	6.5 a 8.5
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	2650	90.4	
Color	0.5	0.5	20
Turbidez NTU's	2.6	1.3	5.0
Acidez ppm $\text{CaCO}_3$	9.5	5.7	
$\text{CO}_2$ ppm $\text{CaCO}_3$	8.4	5.0	
Alcalinidad ppm $\text{CaCO}_3$	88.4	8.05	
Cloruros ppm $\text{CaCO}_3$	39.3	3.9	250
Dureza ppm $\text{CaCO}_3$	1417	10.1	500
Nitratos ppm $\text{CaCO}_3$	28.8	7.0	45
Sulfatos ppm $\text{CaCO}_3$	1501	21	400
Flúor ppm	2.03	0.06	1.5
Fierro ppm	$>0.1$	$>0.1$	0.30
Manganeso ppm	0.124	$>0.01$	0.15
Sólidos Totales ppm	2834	58	
Sólidos Disueltos ppm	2829	57.6	1000
Sólidos suspendidos ppm	4.6	0.4	

NMP: Nivel Máximo Permitido

Estos resultados posibilitan el aprovechamiento de estas aguas mediante su recogida para una gran variedad de usos domésticos y de servicios no potables. La incorporación de unos tratamientos simples aumentarían la calidad de las aguas pluviales para hacerla accesible a usos que requieran unas características hídricas de mayor calidad.

### 6.5.3 Análisis de la demanda de agua: Demanda potencial en función de los escenarios propuestos y consumo actual.

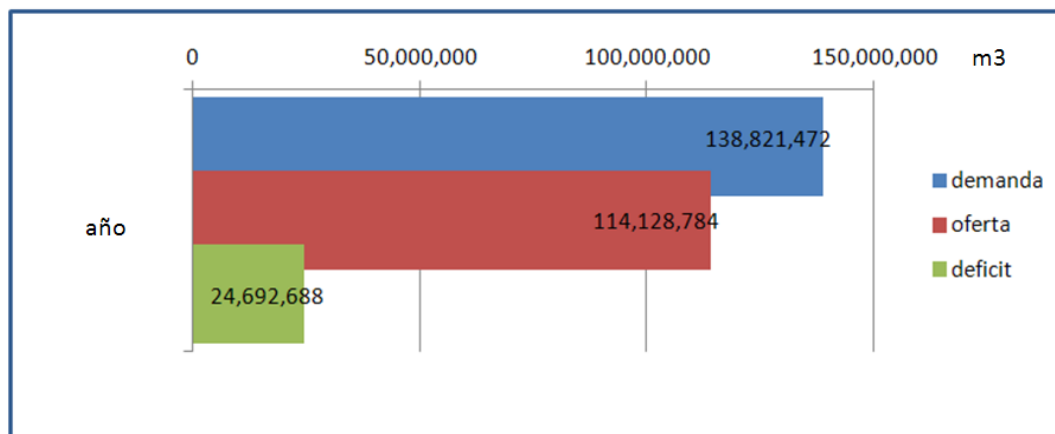
- Escenario 1: En este escenario para la ciudad de Chihuahua se planteara una precipitación pluvial de 250 mm, y la oferta y la demanda del agua destinada básicamente para uso domestico, industrial y comercial.
- El escenario 2: precipitación media anual de alrededor de 480 mm.
- Escenario 3: optimista, volumen medio de precipitación 750 mm anuales.

En la siguiente tabla se observa que la ciudad de Chihuahua demanda 4,202 litros/segundo equivalentes 138'821,472 m3/año. Siendo la oferta de tan solo de 3,619 litros /segundo lo que hace evidente que se presente un déficit de abasto de 783 litros/segundo, que equivale al 18% en relación a la demanda, cuya proporción supone un requerimientos hídricos de correspondiente a 24'692,688 m3/año, esta información es la misma para los tres escenarios de acuerdo a la **Tabla 21**.

**Tablas 21.-** Relación de oferta y demanda en la ciudad de Chihuahua (JCAS 2010)

	litros/seg	seg	min	horas	día	litros /año	m3 / año
<b>demanda</b>	4,402.00	60	60	24	365	138,821,472,000	<b>138,821,472</b>
<b>oferta</b>	3,619.00	60	60	24	365	114,128,784,000	<b>114,128,784</b>
<b>déficit</b>	783.00	60	60	24	365	24,692,688,000	<b>24,692,688</b>

Demanda y oferta de agua para la ciudad de Chihuahua



**Ilustración 26.-** Relación de la oferta y la demanda de agua potable para la ciudad de Chihuahua. (Fuente: Propia)

### Potencial de autosuficiencia hídrica en función de los escenarios de oferta y demanda.

**Escenario 1.-** Al evaluar la totalidad de la oferta y la demanda en razón de una precipitación escasa, no se consigue reducir en 100% el déficit de agua demandada y la dependencia hídrica de la red de la ciudad.

**Tabla 22.-** Análisis de captación de agua de lluvia en base a un escenario pesimista (elaboración propia)

precipitación anual		Captación	Coefficiente de escorrentia	Evapotranspiración	Capacidad de captación de Lluvia efectiva
mm	M	M3	RC	M3	M3/ año
250	0.250		0.75	42.80%	
	0.25	53,359,927.53	40,019,945.65	17,128,536.74	22,891,408.91

**Tabla 23.-** Resultados encontrados en el escenario pesimista (elaboración propia)

<i>déficit</i>	24,692,688
Agua de lluvia que no se logra captar para cubrir el déficit	-1,801,279.09

**Escenario 2.-** Al evaluar la totalidad de la oferta y la demanda se consigue reducir la dependencia hídrica de la red de la ciudad en un 28%, de acuerdo al nivel de captación de agua correspondiente a 44' 134,636.38 m3/año, con lo que se cubre el déficit actual y un 10% más.

Autosuficiencia del sistema en función de la demanda de agua de las viviendas

**Tabla 24.-** Análisis de captación de agua de lluvia en base a un escenario promedio. (Elaboración propia)

precipitación anual		Captación	Coefficiente de escorrentia	Evapotranspiración	Capacidad de captación de Lluvia efectiva
mm	m	m3	rc	m3	m3/ año
480	0.480		0.75	42.80%	
	0.482	102,877,940.28	77,158,455.21	33,023,818.83	44,134,636.38

En el caso de considerar únicamente el déficit de la demanda requerida por la población de la ciudad, no sólo se alcanza sino que incluso se sobrepasa el grado de autosuficiencia para escenarios de consumo planteado.

**Tabla 25.-** Análisis de captación de agua de lluvia en base a un escenario optimista. (Elaboración propia)

precipitación anual		captación	coeficiente de escorrentia	evapotranspiración	capacidad de captación de lluvia efectiva
mm	m	m3	rc	m3	m3/ año
750	0.750		0.75	42.80%	
	0.75	160,079,782.59	120,059,836.94	51,385,610.21	68,674,226.73



Durante los últimos 10 años en la ciudad de Chihuahua se han presentado lluvias por arriba de los 400 mm a excepción del año 2011 que apenas alcanzo los 260 mm de lluvia para ese año. Se pudo observar que sólo con ese nivel de precipitación no se alcanza a cubrir la demanda de agua que requiere la ciudad.

- Autosuficiencia del sistema en función de la demanda de agua únicamente en servicios de la ciudad.

Se ha observado que se cumple la autosuficiencia de los servicios (limpieza de viales, piscinas, riego de zonas verdes y equipamientos) para casi la totalidad de las combinaciones de oferta y demanda, a excepción del escenario correspondiente al año seco (2011) que no cubren las necesidades de las demandas de los servicios propuestos para la ciudad de Chihuahua.

### Conclusiones

A continuación en la **tabla 26** se presentan resumidamente las principales conclusiones extraídas de los resultados obtenidos en el estudio de la autosuficiencia hídrica de la ciudad de Chihuahua.

**Tabla 26:** Resumen de los principales resultados extraídos de la realización del estudio de autosuficiencia hídrica de la ciudad de Chihuahua. *(Fuente: Propia en base a los resultados).*

OFERTA	-Asegurar una <b>eficiente captación</b> de agua pluvial por parte de los entes municipales, en las edificaciones de gestión pública.
	- <b>Facilitar la instalación</b> de este tipo de estrategias de captación, almacenaje y redistribución del agua pluvial.
	<b>Rediseño de las cubiertas</b> propuestas para la ciudad: Material, inclinación y color.
	- <b>Determinación previa de los usos</b> a que será destinada el agua pluvial de captación en función de la calidad y la red de distribución disponible.
DEMANDA	- <b>Restricción del consumo doméstico</b> de agua.
	(Aplicar estrategias en los hábitos de consumo de agua)
	- <b>Reducción del consumo</b> de agua en campos de golf, en <b>piscinas</b> comunitarias y unifamiliares.
	-Mejoras en la <b>eficiencia del riego</b> y uso de <b>vegetación de baja demanda hídrica</b> .
AUTOSUFICIENCIA	Facilitar la utilización del agua recogida en los <b>servicios de la ciudad</b> .
	Alcanzar la <b>máxima autosuficiencia</b> de la ciudad y su <b>desvinculación</b> progresiva de la red de agua potable.
	- <b>Disminuir los gastos económicos</b> de agua asociados a los ciudadanos.

En la **tabla 27** se presentan las principales recomendaciones de implementación para la mejora del planeamiento vigente.

**Tabla 27.-** Resumen de las propuestas derivadas de este estudio para la mejora del planeamiento actual de la ciudad de Chihuahua.

OFERTA	-Asegurar una <b>eficiente captación</b> de agua pluvial por parte de los entes municipales en las edificaciones públicas.
	- <b>Facilitar la instalación</b> de este tipo de estrategias de captación, almacenaje y redistribución del agua pluvial.
	- <b>Rediseño de las cubiertas</b> propuestas para la ciudad: Material, inclinación y color.
	- <b>Determinación previa de los usos</b> a que será destinada el agua pluvial de captación en función de la calidad y la red de distribución disponible.
DEMAN-DA	- <b>Restricción del consumo doméstico</b> de agua. (Aplicar estrategias en los hábitos de consumo de agua)
	- <b>Reducción del consumo</b> de agua en campos de golf, <b>en piscinas</b> comunitarias y unifamiliares.
	-Mejoras en la <b>eficiencia del riego</b> y uso de <b>vegetación de baja demanda hídrica</b> .
	-Facilitar la utilización del agua recogida en los <b>servicios de la ciudad</b> .
AUTOSUFICIENCIA	-Alcanzar la <b>máxima autosuficiencia</b> de la ciudad y su <b>desvinculación</b> progresiva de la red de agua potable.
	<b>Disminuir los gastos económicos</b> de agua asociados a los ciudadanos

---

## CAPITULO 7. CONCLUSIONES

- En un principio, el hombre utilizaba el agua de lluvia como una forma de incrementar la producción de los cultivos, sin embargo, no dependía de esta manera directamente ya que el agua superficial era abundante al establecerse en el valle de los ríos y los núcleos de población eran reducidos. Hoy se sabe que las distintas formas de aprovechamiento del agua de lluvia se llevaban a cabo hace miles de años, no obstante hasta ahora es que se estudian estas formas de aprovechamiento del agua, el uso de estas estructuras en la historia dan prueba de ello y por tanto podemos concluir que estas técnicas han cumplido un papel importante en los modos de producción agrícola y sobre todo en la satisfacción de las necesidades domesticas.
- Actualmente la falta de recursos disponibles, tales como dinero para invertir y la misma escasez de precipitaciones, trae por consecuencia que los organismos gestores del recurso hídrico pongan mayor atención a los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia utilizados por nuestros antepasados, además se concluye que esta situación se presenta solo cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy elevado.
- A través del comportamiento histórico que presentan los periodos de lluvia en la ciudad de Chihuahua, los cuales han disminuido paulatinamente, se ha provocado que la recarga de los acuíferos se vea mermada.
- También se concluye, que el impulso a las actividades productivas de la región ha generado competencia por el agua y paralelamente ha implicado efectos negativos tanto en el medio ambiente, así como entre los usuarios del recurso, al darse una explotación intensiva del agua subterránea.
- El incremento en los costos de extracción de agua subterránea afectará las actividades productivas.
- El suministro de agua para todo tipo de usos en la ciudad de Chihuahua es principalmente agua subterránea, aproximadamente el 99 %. La sobreexplotación de los acuíferos subterráneos ha derivado en un déficit entre demanda y oferta.
- El contar con nuevas tecnologías, sistemas o medios disponibles en la esfera de nuestra actuación resultan indispensables para un manejo más sostenible en el uso del agua, sin embargo, el ámbito educativo no puede ser ajeno a los cambios que hacen posible su desarrollo y entonces podemos asumir que el grado de impacto que se tenga en este contexto no depende tanto de los medios en sí, sino de la participación de todos los involucrados, asumiendo sus responsabilidades de acuerdo a sus actitudes, creencias y experiencias.
- En la ciudad de Chihuahua los problemas que se perciben sobre la actual situación de la disponibilidad del agua son:
  - Inadecuado del uso del agua en el sector agrícola
  - Desconocimiento del ciclo hidrológico en el estado de Chihuahua
  - Incremento de la demanda de agua potable en centros urbanos debido al acelerado crecimiento horizontal.
  - Falta de planeación y de un manejo integral de los recursos hidráulicos subterráneos (acuíferos) por desconocimiento de los mismos.
  - Contaminación del recurso superficial y subterráneo.

- 
- Ineficiencia física de los sistemas, es decir, pérdidas de agua por fugas en las infraestructuras de conducción y distribución;
  - Educación de los usuarios en términos de la “cultura del agua”, la cual busca la racionalización del consumo.

---

## CAPITULO 8. RECOMENDACIONES

- Se debe evitar la explotación desmedida de los cuerpos de agua que afectan a los mantos freáticos y que hoy día se encuentran en un nivel crítico acarreado en desequilibrio hídrico, que trae como consecuencia efectos contraproducentes a las actividades productivas que dependen del agua subterránea, como lo son la agricultura y el abasto para uso municipal.
- Por otro lado, se deben buscar fuentes alternas de abastecimiento de agua y según el estudio llevado a cabo una alternativa es el aprovechamiento de agua de lluvia a través de los métodos propuestos en el trabajo desarrollado.
- Otra de las recomendaciones para la ciudad de Chihuahua en cuanto a los usos que le da al agua que consume, sin duda, es estar alerta para que no se den prácticas antropogénicas contaminantes, a través de la aplicación de medidas cautelares rigurosas, así como buscar en el marco de la ley la aplicación de sanciones que inhiban estas prácticas nocivas.
- El agua subterránea, la cual presenta un déficit deberá seguir sujeta a una extracción, explotación, uso y aprovechamientos controlados para lograr la sustentabilidad ambiental de los acuíferos, mediante la tarea de vigilancia permanente por parte de las autoridades del agua.
- La autoridad gubernamental debe implementar planes para optimizar los recursos hidrológicos. Estos planes deberán considerar, adicional al uso del agua de lluvia, el tratamiento de aguas residuales y el uso de agua regenerada. Lo anterior como una forma de insistir en seguir buscando nuevas alternativas sostenibles
- Generar un cambio de actitudes en la población de la ciudad de Chihuahua, sobre el uso del agua, sobre todo porque en esta región el agua siempre ha sido escasa y lo grave es que hoy, está en grave riesgo de agotarse. Esto a través de campañas que empiecen a difundir información de la situación actual del agua, a demás de campañas que muestren las alternativas posibles para que la población se vaya familiarizando con este tipo de proyectos.
- Generar proyectos pilotos de captación de agua de lluvia para incrementar la experiencia y determinar el modelo más apropiado para la ciudadanía chihuahuense.

---

## CAPITULO 9.

### 9.1 Glosario de términos

<b>Desarrollo sostenible o sustentable</b>	<b>El desarrollo sostenible o sustentable:</b> es aquel que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.
<b>Acuífero</b>	<b>Acuífero:</b> cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento
<b>Acueducto</b>	<b>Acueducto:</b> es un sistema o conjunto de sistemas acoplados, que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que esta sea accesible en la naturaleza, hasta un punto de consumo distante. Su nombre proviene del latín "aque ductus" que significa conducto de agua.
<b>Infiltración</b>	<b>Infiltración:</b> es la penetración del agua en el suelo.
<b>Pozo</b>	<b>Pozo:</b> es una perforación profunda efectuada en la tierra para sacar el agua. Su profundidad varía según el nivel en que se halle el manto freático y sus paredes pueden estar revestidas de piedra o ladrillo según la región.
<b>Río</b>	<b>Río:</b> se trata de una corriente de agua bastante considerable que desemboca en otro o bien en el mar.
<b>Xerófita</b>	<b>Xerófita:</b> Plantas adaptadas a la escasez de agua en la zona en la que habitan, como la estepa o el desierto. Se encuentran en regiones climáticamente áridas (desiertos) y también en ambientes excepcionalmente secos de regiones semiáridas
<b>Simbiótica</b>	<b>Simbiótica:</b> Asociación en la que dos organismos de especies diferentes se asocian para beneficiarse mutuamente en su desarrollo vital.
<b>Acequia</b>	<b>Acequia:</b> Zanja o canal por donde son conducidas las aguas para riego o para otros usos.
<b>Hidrometeorológico</b>	<b>Hidrometeorología:</b> es la ciencia (estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología y la climatología) que estudia el ciclo del agua en la naturaleza.
<b>Antropogénicas</b>	<b>Antropogénicas:</b> se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana
<b>Resiliencia</b>	<b>Resiliencia:</b> resistencia de un cuerpo a la rotura por golpe. La fragilidad de un cuerpo decrece al aumentar la resiliencia. En español y francés resiliencia se emplea en el campo de la ingeniería civil únicamente para describir la capacidad de un material de recobrar su forma original después de someterse a una presión deformadora. La definición en el idioma inglés del concepto resilience es la tendencia a volver a un estado original o el tener poder de recuperación.

---

## 9.2 Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1.- Distribución de la lluvia máxima para 24 horas de acuerdo al modelo IDW para la ciudad de Chihuahua y zonas colindantes. ....</i>	22
<i>Ilustración 2.- Chihuahua en la franja de los grandes desiertos del mundo. ....</i>	23
<i>Ilustración 3.- Ubicación del Estado Chihuahua dentro de la República Mexicana ....</i>	24
<i>Ilustración 4.- Ubicación del municipio de Chihuahua dentro del Estado. ....</i>	24
<i>Ilustración 5.- Precipitación pluvial de tres décadas en la Ciudad de Chihuahua (Muñoz et al. 2004). ....</i>	25
<i>Ilustración 6.- Grafica de la precipitación promedio mensual ....</i>	26
<i>Ilustración 7.- Precipitación Promedio anual Periodo 2004-2015 (elaboración propia) ....</i>	27
<i>Ilustración 8.- Temperatura máxima registrada, Periodo 2004-2015 (elaboración propia) ....</i>	28
<i>Ilustración 9.- Temperaturas mínimas presentadas, periodo 2004-2015 (elaboración propia) ....</i>	29
<i>Ilustración 10.- Temperaturas máximas y mínima presentada en la ciudad de Chihuahua, periodo 2004-2014 (elaboración propia) ....</i>	29
<i>Ilustración 11.- Temperaturas Promedio presentada en la ciudad de Chihuahua, periodo 2004-2014 (elaboración propia) ....</i>	29
<i>Ilustración 12.- Ciclo hidrológico en Chihuahua. ....</i>	30
<i>Ilustración 13.- Cuencas hidrológicas que impactan a la ciudad de Chihuahua ....</i>	33
<i>Ilustración 14.- Ubicación de los acuíferos sobre-explotados ....</i>	33
<i>Ilustración 15.- Ubicación de los acuíferos ....</i>	34
<i>Ilustración 16.- Acuíferos con decreto de veda ....</i>	35
<i>Ilustración 17.- Porcentajes de agua en base al origen ....</i>	36
<i>Ilustración 18.- Usos del agua ....</i>	36
<i>Ilustración 19.- Plantas de Tratamiento de Agua Sur y Norte en la ciudad de Chihuahua ....</i>	44
<i>Ilustración 20.- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Chihuahua Norte y Sur ....</i>	45
<i>Ilustración 21.- Esquema del COLPOS ....</i>	49
<i>Ilustración 22.- Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia (Gould y Nissen-Petersen, 1999). ....</i>	51
<i>Ilustración 23.- Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004. ....</i>	52
<i>Ilustración 24.- Mapa regional y local de la situación geográfica de la ciudad de Chihuahua dentro del municipio de Chihuahua. (Fuente: Datos del mapa 2015 Google, INEGI) ....</i>	56
<i>Ilustración 25.- Fracción sobre el total de las diferentes tipologías de cubiertas de captación de aguas pluviales para la ciudad de Chihuahua. (Fuente: Propia) ....</i>	61
<i>Ilustración 26.- Relación de la oferta y la demanda de agua potable para la ciudad de Chihuahua. (Fuente: Propia) ....</i>	63

---

### 9.3 Índice de Tablas

<b>Tabla 1.-</b> Secuencia histórica de periodos secos y húmedos con duración mayor a un año. .....	26
<b>Tabla 2.-</b> Precipitación Mensual de 1940 a 1990.....	26
<b>Tabla 3.-</b> Temperatura media mensual .....	27
<b>Tabla 4.-</b> Temperaturas máximas registradas en la Ciudad de Chihuahua, periodo 2004 - 2015.....	28
<b>Tabla 5.-</b> Temperaturas mínimas registradas en Chihuahua, periodo 2004-2015.....	28
<b>Tabla 6.-</b> Precipitación anual promedio. ....	30
<b>Tabla 7.-</b> Presas de la ciudad de Chihuahua.....	31
<b>Tabla 8.-</b> Arroyos que atraviesan el área urbana .....	31
<b>Tabla 9.-</b> Nivel de almacenamiento de acuerdo al periodo de retorno.....	32
<b>Tabla 10.-</b> Cuencas hidrológica que impactan la ciudad de Chihuahua.....	32
<b>Tabla 11.-</b> Situación actual de los acuíferos.....	35
<b>Tabla 12.-</b> Precios de acuerdo al consumo de agua para uso domestico. ....	39
<b>Tabla 13.-</b> Precios de acuerdo al consumo de agua para uso Comercial.....	40
<b>Tabla 14.-</b> Precios de acuerdo al consumo de agua para uso Industrial.....	40
<b>Tabla 15.-</b> Precio estimativo de acuerdo al tipo de servicio.....	40
<b>Tabla 16.-</b> Municipio - Precio por metro cúbico (pesos).....	41
<b>Tabla 17.-</b> Clasificación de los sistemas de captación de lluvia por diferentes rubros Fuente: Modificación a la clasificación de FAO del 2000. ....	48
<b>Tabla 18.-</b> Precipitaciones 2004-2014 (elaboración propia).....	57
<b>Tabla 19.-</b> Identificación de la superficie apropiada de techos para captación de agua pluvial (elaboración Propia).....	58
<b>Tabla 20.-</b> Valores obtenidos del análisis cualitativo del agua con y sin tratamiento en comparación con el marco legal (Fuente: Castro et.al 002).....	60
<b>Tablas 21.-</b> Relación de oferta y demanda en la ciudad de Chihuahua (JCAS 2010)....	61
<b>Tabla 22.-</b> Análisis de captación de agua de lluvia en base a un escenario pesimista (Elaboración propia).....	62
<b>Tabla 23.-</b> Resultados encontrados en el escenario pesimista (elaboración propia).....	62
<b>Tabla 24.-</b> Análisis de captación de agua de lluvia en base a un escenario promedio. (Elaboración propia).....	62



---

<b>Tabla 25.-</b> Análisis de captación de agua de lluvia en base a un escenario optimista. (Elaboración propia).....	62
<b>Tabla 26:-</b> Resumen de los principales resultados extraídos de la realización del estudio de autosuficiencia hídrica de la ciudad de Chihuahua. (Fuente: Propia en base a los resultados).....	63
<b>Tabla 27.-</b> Resumen de las propuestas derivadas de este estudio para la mejora del planeamiento actual de la ciudad de Chihuahua.....	64

---

## 9.4 Bibliografía

- <sup>1</sup> Antonio Torres Rodríguez, 15 de Noviembre 2009, Pueblos y pobladores indígenas de Centroamérica, México y el Caribe, [centzuntli.blogspot.com/2009/11/conchos.html](http://centzuntli.blogspot.com/2009/11/conchos.html)
- <sup>2</sup> Dizán Vázquez (2006)
- <sup>3</sup> Durán, J. R. (1995). Chihuahua: El vital líquido a través de los tiempos. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- <sup>4</sup> Solá (2001). Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española. p. 9-30
- <sup>5</sup> (2008) GOBERNANZA: CONCEPTOS, OBJETIVOS Y PRINCIPIOS
- <sup>6</sup> Pablo Chirif (2011), Territorio Indígena y Gobernanza, ¿Qué es la gobernanza? iniciativa de Helvetas Swiss Intercooperation, <http://www.territorioindigenaygobernanza.com/gobernanza.html>
- <sup>7</sup> Dra. Judith Domínguez Serrano (2008) LA GOBERNANZA DEL AGUA EN MEXICO Y EL RETO DE LA ADAPTACION EN ZONAS URBANAS: EL CASO DE LA CIUDAD DE MEXICO, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México
- <sup>8</sup> Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua, IMPLAN (2006). Atlas de riesgo, Resumen ejecutivo <http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/documentos/AR-Resumen-Ejecutivo.pdf>
- <sup>9</sup> Froilán Meza Rivera (Agosto de 2014), La Crónica de Chihuahua <http://www.cronicadechihuahua.com/Cuantifica-La-Cronica-de-Chihuahua,30353.html>
- <sup>10</sup> Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua, IMPLAN (2011). Atlas de riesgo <http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/documentos/AR-Resumen-Ejecutivo.pdf>
- <sup>11</sup> INEGI (2015) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Chihuahua, Chihuahua, recuperado el 4 de abril de 2015. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/08/08019.pdf>
- <sup>12</sup> GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA (2011), PROGRAMA SECTORIAL 2011-2016, EL AGUA DE CHIHUAHUA [http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sf/uploads/indtfisc/progSER2010-2016/ProgSec\\_JuntaCentral.pdf](http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sf/uploads/indtfisc/progSER2010-2016/ProgSec_JuntaCentral.pdf)
- <sup>13</sup> GOOGLE, INEGI 2015  
Link: [<https://www.google.com.mx/maps/place/Chihuahua,+Chih.>]

- 
- ink: [<http://m5x.eu/chihuahua-mapa/>]
- <sup>14</sup> Datos Generales del Municipio de Chihuahua  
<http://www.municipiochihuahua.gob.mx/Ciudad/Historia/General>
- <sup>15</sup> Lisa Antillón Kantrowitz (2012), EL AGUA EN CHIHUAHUA: Sustentabilidad en Riesgo , p.18
- <sup>16</sup> Instituto Nacional de Ecología, ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN HISTÓRICA DE LA ZONA NORTE DE MÉXICO. Elizabeth Esquivel E.  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/367/cambioclimat.html>
- <sup>17</sup> IMPLAN (2009) PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA: VISIÓN 2040, PARTE DOS: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL DESARROLLO URBANO recuperado el 4 de abril de 2015.  
[http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/pdf/Diagnostico\\_Ambiente.pdf](http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/pdf/Diagnostico_Ambiente.pdf)
- <sup>18</sup> Servicio Meteorológico Nacional (2015) <http://www.smn.conagua.gob.mx>
- <sup>19</sup> Mérida Gutiérrez y Héctor O. Rubio Arias, (Enero-Abril 2014) Captación pluvial en Chihuahua: Una alternativa sustentable, Tecno ciencia Chihuahua, Vol. VIII, Núm.1,
- <sup>20</sup> Ing. Samuel Chavarría Licón (2006) Implan PLAN SECTORIAL DE AGUA PLUVIAL I ETAPA, Resumen Ejecutivo,.
- <sup>21</sup> Lisa Antillón Kantrowitz (2012) EL AGUA EN CHIHUAHUA: Sustentabilidad en Riesgo p.25
- <sup>22</sup> Ing. S. Chavarría (2006), Hidro consultores, Plan Sectorial de Manejo del Agua Pluvial, Etapa I, Diagnóstico.
- <sup>23</sup> IMPLAN (2009) PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA: VISIÓN 2040, PARTE DOS: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL DESARROLLO URBANO, recuperado el 4 de abril de 2015.  
Link [[http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/pdf/Diagnostico\\_Ambiente.pdf](http://www.implanchihuahua.gob.mx/PDU2040/pdf/Diagnostico_Ambiente.pdf)]
- <sup>24</sup> CONAGUA (2010) Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO 0807 EL SAUZ-ENCINILLAS, ESTADO DE CHIHUAHUA p. 2, 8 ,22.
- <sup>25</sup> CONAGUA (2009) ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS NACIONALES SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO LAGUNA EL DIABLO, Clave 0815, En El Estado De Chihuahua, Región Hidrológico Administrativa Río Bravo.

- 
- <sup>26</sup> CONAGUA (2009) ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS NACIONALES SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO LAGUNA DE HORMIGAS, Clave 0824, En El Estado De Chihuahua, Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.
- <sup>27</sup> CONAGUA (2010) Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO 0830 CHIHUAHUA-SACRAMENTO, ESTADO DE CHIHUAHUA p. 2
- <sup>28</sup> CONAGUA (2010) Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO 0835 TABALAOPA ALDAMA, ESTADO DE CHIHUAHUA p. 2
- <sup>29</sup> CONAGUA (2009) ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS NACIONALES SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO ALDAMA-SAN DIEGO, Clave 0836, En El Estado De Chihuahua, Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo
- <sup>30</sup> Tarifas de los derechos por servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, (2014), de las siguientes juntas municipales: Chihuahua, Delicias, Cuauhtémoc, H. Del Parral, Camargo, Jiménez, Ojinaga, Aldama, Madera, Casas Grandes y Nuevo Casas Grandes, Chih. Periódico Oficial /Folleto Anexo - Gobierno del Estado de Chihuahua.  
<https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=servicios+de+agua+potable%2c+alcantarillado+sanitario+y+saneamiento+en+el+municipio+de+chihuahua>
- <sup>31</sup> JMAS (2007)  
[http://www.chihuahua.gob.mx/jmas/contenido/plantilla3.asp?cve\\_canal=940&portal=jmas](http://www.chihuahua.gob.mx/jmas/contenido/plantilla3.asp?cve_canal=940&portal=jmas),  
[http://www.chihuahua.gob.mx/jmas/Contenido/plantilla3.asp?cve\\_canal=940&Portal=jmas](http://www.chihuahua.gob.mx/jmas/Contenido/plantilla3.asp?cve_canal=940&Portal=jmas)
- <sup>32</sup> SEMARNAT (2011) Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación..
- <sup>33</sup> Francisco López (2014), Hacen el trabajo "sucio" para tener limpia la ciudad/El Diario  
<http://www.eldiariodechihuahua.mx/Ciudad/2014-06-03/Hacen-el-trabajo--sucio-para-tener-limpia-la-ciudad-/e2e77b3a24a703e2c9835263540aefdc>
- <sup>34</sup> María Socorro Espino V.(2012),(Fac. Ingeniería, UACH, Dr. Eduardo Herrera Peraza (CIMAV), M. I. Carmen Julia Navarro G. (CIMAV),Una acción contra el cambio climático en Chihuahua: tratamiento y reuso de agua
- <sup>35</sup> Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. México DF, México.: International Renewable Resources Institute Mexico.

- 
- <sup>36</sup> Gleason (2006), p. 25.
- <sup>37</sup> Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA-Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil), 5.
- <sup>38</sup> Montes, M. P. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México. *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, (3), p 39-57.
- <sup>39</sup> FAO 2000, Oficina Regional de la FAO para América Latina, "Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia Experiencias en América Latina, Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13". Chile
- <sup>40</sup> García Velázquez Jesús Hiram (2012) Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un eco barrio de la ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma De México. p.24
- <sup>41</sup> Castañeda, N. P., AMBIENTAL, E., & MEDELLÍN, A. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 13(2), 25-39.
- <sup>42</sup> Gualdrón Becerra, N. (2014). Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas El Salado y La Aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia.
- Momparler, S., & Doménech, A. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". *Revista Técnica de Medio Ambiente. C&M Publicaciones*, 124, 92-104.
- Arroyave Rojas, J. A., Díaz Vélez, J. C., Vergara, D. M., & Macías, N. D. (2012). Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.
- Saucedo, F. B. R., & Quintana, A. I. R. Sustentabilidad Hídrica y Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en Parques del Municipio de Guadalajara.
- Victor D. Phillips, Ron Tschida, Marco Hernandez, Floriana Hernández Martínez (2011) Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso
- Sarai Francisca Guzmán Ruiz (2014) Sistema de captación de aguas pluviales adaptable a casa habitación, Oaxaca México.

- 
- Anaya Garduño, M., Rivera Olivar, D., & Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo (México). (2000). Colegio de Postgraduados, Chapingo (México). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo (México). Sistemas de captación de agua de lluvia. 7. Reunión Nacional sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Chapingo (México).
  - Enciclopedia Salvat de la Ciencia y de la Tecnología, (1964).